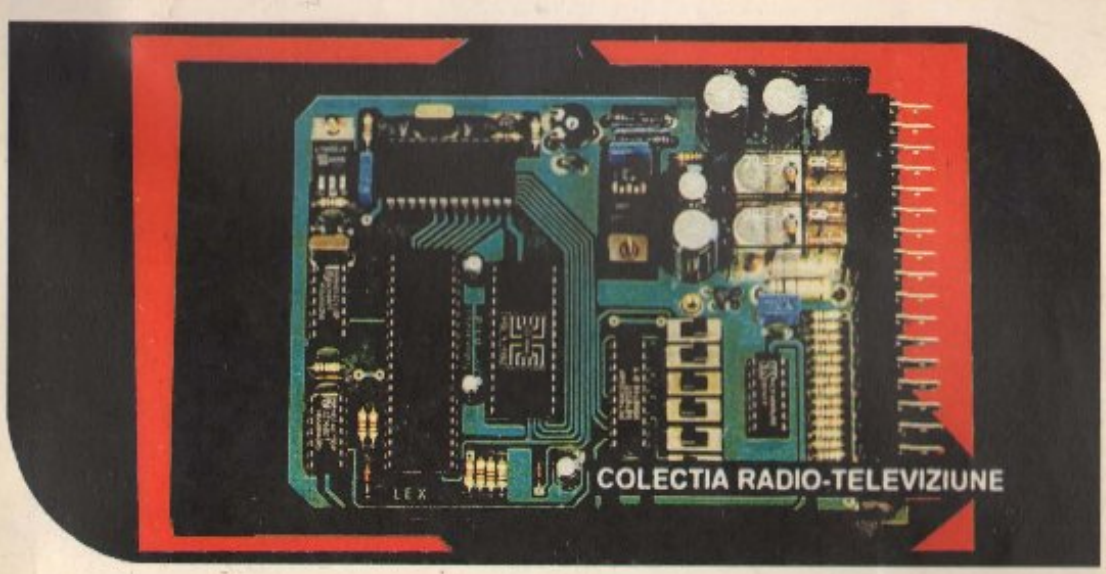


Mihai Băşoiu

DCC
Casetofoane digitale

EDITURA Tehnică

Colecția Radio – TV

MIHAI BĂŞOIU

DCC

CASETOFOANE DIGITALE

EDITURA TEHNICĂ
Bucureşti, 1998

Copyright ©, 1997, Editura Tehnică
Toate drepturile asupra acestei ediții sunt rezervate editurii

Adresă: Editura Tehnică
Piața Presei Libere 1
33 București, România
cod 71341

Redactor: Mihaela Marian
Tehnoredactare computerizată: Mariana Gheorghiță
Desene: Mariana Gheorghiță; Cristina Baciu
Coperta: graf. Simona Dumitrescu

Bun de tipar: 01.04.1998; Coli tipo: 5
C.Z.: 621.396
ISBN: 973-31-1162-7

Tipărit: *Semne*

INTRODUCERE

Fără nici un fel de dubiu, zilele tehnicilor analogice de înregistrare AF sunt numărate. Tehnica digitală a prelucrării sunetului (semnalelor de AF) a apărut la sfârşitul deceniului 8, întâi în domeniul profesional al prelucrărilor din studiouri şi apoi, odată cu progresele tehnologiei electronice, a ajuns şi pe piaţa bunurilor de larg consum.

Primul pas în domeniul audio digital pentru marele public s-a realizat prin lansarea compact discului (CD), care, practic într-un foarte scurt timp, a înlocuit pe piaţă discul convenţional. Performanţele compact discului sunt, după cum se ştie, net superioare celor ale discului convenţional. În momentul când şi costurile la utilizator au ajuns comparabile, evident că majoritatea cumpărătorilor s-a îndreptat spre CD.

O situaţie asemănătoare a apărut şi în domeniul înregisrărilor AF pe bandă magnetică.

Prima variantă de înregistrare magnetică, cunoscută sub numele de DAT (*Digital Audio Tape* – înregistrare audio digitală pe bandă magnetică) foloseşte o tehnică complexă, care presupune un cap rotativ de înregistrare-redare. De aici apar o serie de asemănări cu tehnica VCR (*Video Casette Recorder* – videocasetofon), prezentând evident şi neajunsurile acestuia, în special în ceea ce priveşte complexitatea şi gabaritul părţii mecanice.

Marile companii electronice n-au putut însă neglija fenomenul „casetofon" de pe piaţa bunurilor de larg consum. Datorită simplităţii sale, a manevrabilităţii, cât şi datorită faptului că poate fi realizat în variantă portabilă, casetofonul a ajuns la începutul anilor '90, poate cel mai răspândit (şi vândut) aparat de redare AF. Din acest motiv, s-a căutat să se creeze varianta sa digitală. Cei care au realizat primii produsul, punând la punct atât principiul de funcţionare cât şi standardizarea prelucrării digitale şi a elementelor fizice ale sistemului (aparatul de redare şi caseta), au fost firmele Philips (Olanda) şi Matsushita (Japonia). În urma unei colaborări de circa doi ani între specialiştii în domeniu ai celor două companii, în anul 1991 ele au putut anunţa lansarea pe piaţă a DCC (*Digital Compact Casette*), acest produs fiind echivalentul digital al casetofonului şi al binecunoscutei casete analogice convenţionale.

Ca în cazul tuturor produselor electronice de ultimă oră, pentru DCC nu există un termen românesc corespunzător. Din acest motiv, în lucrare, atât pentru

conceptul propriu-zis, cât şi pentru aparatura corespunzătoare se va folosi termenul, mai bine zis, prescurtarea englezească deja consacrată (şi acceptată) de marea majoritate atât a specialiştilor cât şi a utilizatorilor: DCC (*Digital Compact Casette* – casetă digitală compactă). În limba engleză se pronunţă: di – si – si.

Întrucât produsul este relativ nou, el fiind lansat abia în 1991, răspândirea sa este relativ redusă, casetofoanele convenţionale (analogice) deţinând supremaţia pieţii de AF. Procesul de ocupare a pieţii de AF de către DCC este însă în plină extindere în vest, iar specialiştii îi prevăd un viitor roz datorită câtorva motive, dintre care noi le enumerăm pe cele pe care le considerăm ca fiind cele mai importante (şi mai convingătoare):

– marele public a început să fie mai pretenţios cu privire la calitatea sunetului audiat, aceasta fiind şi o consecinţă a mai largului său acces la surse AF de calitate (radiodifuziune digitală, sunet TV digital, CD, DAT, etc). În acest sens, numai tehnica digitală poate asigura cerinţele crescute de calitate ale înregistrărilor magnetice;

– progresul tehnologic spectaculos al industriei electronice a făcut ca toată procesarea digitală să poată fi realizată cu ajutorul a numai câtorva circuite integrate cu grad foarte mare de integrare şi în plus, chiar ieftine, ajungându-se în situaţia ca un aparat de înregistrare-redare DCC să nu fie semnificativ mai scump decât un casetofon clasic performant;

– păstrarea posibilităţii înregistrării redării analogice cu aparatură DCC face ca trecerea casetofon analogic – casetofon digital (DCC) să fie relativ blândă şi astfel suportată mai uşor de către utilizatorul de aparatură convenţională;

– industria înregistrărilor acustice s-a arătat din start interesată în dezvoltarea noii tehnici, trecând rapid la comercializarea casetelor compacte digitale cu înregistrări de ultimă oră;

– datorită utilizării tehnicii digitale, care presupune folosirea unor microprocesoare specializate, sau de uz general, aparatura DCC poate oferi utilizatorului o serie de facilităţi suplimentare faţă de cele oferite de casetofonul clasic, tentante şi deloc de neglijat atunci când se ia hotărârea achiziţionării unui sistem audio de către un potenţial cumpărător.

Plecând de la considerentele enunţate mai sus, este de înţeles optimismul firmelor producătoare cu privire la viitorul DCC.

Datorită extraordinar de marii răspândiri actuale a casetofonului convenţional, apreciem că cele două sisteme de casetofoane (cel analogic şi cel digital) vor convieţui încă un număr bun de ani în paralel pe piaţa bunurilor electronice de larg consum, însă varianta analogică va ceda definitiv locul variantei digitale, foarte probabil, la începutul secolului viitor.

CUPRINS

INTRODUCERE 5
1. GENERALITĂTI 9
1.1 Ce este DCC ? 9
1.2 Performanţele DCC 10
1.3 Principalele caracteristici ale sistemului DCC 11
1.4. Funcţionarea casetofonului digital 12
1.4.1 Schema bloc 13
1.4.2 Principalele blocuri funcţionale ale casetofonului DCC 17
2. PRINCIPIILE PRELUCRĂRII DIGITALE A SEMNALELOR AF 17
2.1 Semnale analogice şi semnale digitale 20
2.2 Conversia analogic – digitală 26
2.3 Conversia digital – analogică (DA) 29
3. PRINCIPIILE PROCESĂRII PASC 29
3.1 Caracteristica de audibilitate 31
3.2 Fazele procesării PASC 32
3.2.1 Conceptul de procesare PASC – echivalentul analogic 34
3.2.2 Compresia PASC a semnalelor digitale 40
3.3 Procesare PASC – recapitulare 42
4. PROCESAREA SEMNALELOR LA ÎNREGISTRARE 43
4.1 Semnale de intrare şi semnale de ieşire 43
4.1.1 Semnalele de la intrarea casetofonului 44
4.1.2 Semnale utilizate la înregistrare 45
4.2 Conversia analogic – digitală 48
4.3 Prelucrarea PASC 48
4.4 Procesarea semnalelor pentru înregistrarea pe bandă magnetică 51
4.4.1 Codarea pentru asigurarea protecţiei semnalului înregistrat împotriva erorilor 52
4.4.2 Codarea ETM 54
4.4.3 Separarea semnalului AF pe 8 căi şi aducerea sa la forma necesară la înregistrare 55

5 PROCESAREA SEMNALELOR AF DIGITALE LA REDARE 56
5.1 Procesarea semnalului de la „citire" 56
5.1.1 Citirea semnalelor înregistrate 56
5.1.2 Refacerea semnalului NRZI 58
5.1.3 Refacerea semnalului digital clasic 60
5.1.4 Decodarea ETM 62
5.1.5 Decodarea circ şi corectarea erorilor 62
5.2 Decodarea PASC 65
5.3 Conversia digital – analogică 66
5.3.1 Filtrarea semnalelor AF şi filtrele utilizate 66
5.3.2 Filtre digitale 68
6. PARTICULARITĂŢI TEHNICE ŞI TEHNOLOGICE ALE CASETOFOANELOR DIGITALE 72
6.1 Înregistrarea şi poziţionarea pistelor pe banda magnetică 72
6.2 Construcţia capului magnetic 74
6.3 Caseta audio digitală – DCC 75
PRESCURTĂRI ÎN LIMBA ENGLEZĂ, UTILIZATE ÎN TEHNICA DCC 77
BIBLIOGRAFIE 79

1
GENERALITĂȚI

1.1 CE ESTE DCC ?

În vorbirea curentă, prin DCC se înțelege varianta digitală a casetofonului clasic, analogic. În limbaj tehnic, prin DCC se înțeleg mai multe lucruri, toate legate de înregistrarea magnetică a semnalelor AF digitale. Astfel:

a – DCC constituie termenul care definește conceptul care stă la baza sistemului de înregistrare AF digital pe bandă magnetică închisă într-o casetă compactă;

b – DCC este numit aparatul electronic de înregistrare și redare a semnalelor AF digitale, pe o casetă compactă (pe românește, aproximativ, „casetofon digital");

c – DCC este prescurtarea expresiei englezești *Digital Compact Casette* care definește strict caseta compactă digitală, propriu-zisă, ca obiect fizic.

Referindu-se la un același domeniu tehnic, înregistrarea magnetică a semnalelor AF pe casetă compactă, este evident că noțiunea cea mai generală, de concept tehnic DCC, le include pe celelalte două, fără ca în vorbirea uzuală să fie folosiți termeni diferiți pentru ele.

Prin acest concept este stabilit modul de prelucrare digitală a semnalelor AF atât la înregistrarea cât și la redarea casetei, procesarea fiind standardizată, pentru a se putea asigura compatibilitatea înregistrare-redare pe același aparat, cât și compatibilitatea între multitudinea de aparate de înregistrare și redare AF digital.

Caseta propriu-zisă este standardizată, are dimensiuni apropiate de cele ale casetei convenționale, analogice, însă are și câteva caracteristici asemănătoare cu cele ale casetelor video (depunerea benzii, folosirea unui căpăcel mobil de protejare a benzii, o serie de ghidaje mecanice pe suprafața exterioară etc.).

1.2 PERFORMANȚELE DCC

Deoarece considerăm cititorii deja acomodați cu performanțele aparaturii audio digitale, în tabelul 1.1 sunt date performanțele DCC în comparație cu celelalte două sisteme audio digitale aflate în exploatare, DAT și CD.

Tabelul 1.1

Performanţele DCC, DAT şi CD

Nr.	Parametru (caracteristică)	DCC	DAT	CD
1	Nr. canale (căi)	2 (stereo)	2 (stereo)	2 (stereo)
2	frecvenţă AF / frecvenţă eşantionare	8Hz-22kHz/48kHz 5Hz-20kHz/44,1kHz 5Hz-14,5kHz/32kHz	8Hz-22kHz/48kHz 5Hz-20kHz/44,1kHz 5Hz-14,5kHz/32kHz	20Hz-20kHz/44,1kHz
3	Dinamică	> 105 dB	90...94 dB	>90 dB
4	THD (distorsiuni armonice totale)	< 0,0025%	<0,05%	<0,0022%
5	Fluctuaţii	cristal/ 10^{-6}	cristal/ 10^{-6}	cristal/ 10^{-6}
6	Caracteristici semnal			
6.1	Frecvenţă de eşantionare	48kHz/ 44,1 kHz/ 32kHz	48kHz/ 44,1kHz/ 32kHz	44,1kHz
6.2	Codare (compresie)	PASC	–	–
6.3	f-biţi (tact semnal AF)	384 Kbiţi/ s	2,46 Mbiţi/ s	2,0338 Mbiţi/ s
6.4	Metoda de corecţie a erorilor	C1, C2 Reed Solomon	C1, C2 Reed Solomon	C1, C2 Reed Solomon
6.5	Tip de modulaţie	8 – 10/ETM	8 – 10/ETM	8 – 14/EFM
6.6	Preaccentuare	opţional	opţional	opţional
7	Caracteristici casetă			
7.1	Durată	D 90 : 45x2= 90 min D120 : 60x2=120 min	120 min	60...72 min
7.2	Tip bandă magnetică	crom	metal	–
7.3	Lăţime bandă	3,78 mm	3,81 mm	–
7.4	Viteză liniară	4,76 cm/s	0,815 cm/s	–
7.5	Nr. şi amplasare piste	9 piste paralele : 8 semnal AF + 1 aux	pistă elicoidală (VCR)	spirală pe disc (de la interior spre exterior)
7.6	Lăţime pistă înregistrare	185 microni	2,613 microni	0,5 microni
7.7	Distanţa între piste	195 microni	13,59 microni	1,6 microni

Aşa cum reiese din tabel, performanţele celor trei sisteme de înregistrare digitală sunt relativ asemănătoare, toate utilizând o tehnologie electronică de „ultimă oră". În afara performanţelor deosebite, în cazul înregistrărilor digitale mai trebuie subliniată încă o caracteristică importantă şi anume conservarea foarte bună a înregistrării, care face ca scăderea calităţii sale în timp şi la un număr mare de audieri să nu fie sesizabilă.

1.3 PRINCIPALELE CARACTERISTICI ALE SISTEMULUI DCC

Deşi este relativ asemănător ca performanţe cu celelalte două sisteme digitale AF pentru marele public, DCC prezintă câteva caracteristici specifice, care, după părerea noastră, au contribuit şi vor contibui în continuare la impunerea sa pe piaţa mondială:

a – Prezintă o anumită compatibilitate (totuşi discutabilă) cu sistemele de înregistrare-redare pe casete analogice convenţionale (casetofonul clasic). Astfel:

– Casetofoanele digitale (DCC) pot realiza înregistrări (redări) de semnale AF analogice, însă numai pe şi de pe casete standard DCC.

– Mecanismele casetofoanelor DCC pot fi realizate prin modificarea relativ simplă a mecanismelor casetofoanelor analogice (este vorba de tehnologia de fabricaţie a casetei şi aparatului de înregistrare-redare, lucru mai puţin important pentru utilizator).

– Cea mai mare parte a aparaturii de înregistrare profesională a casetelor analogice poate fi folosită la înregistrarea casetelor digitale, din acest punct de vedere industria înregistrărilor muzicale neavând de făcut decât investiţii minore.

b – Utilizează soluţii tehnice de ultimă oră, care asigură înregistrărilor DCC o calitate cel puţin egală cu cea CD, în ultima vreme considerată etalonul performanţei de vârf în tehnica AF. Astfel:

– Foloseşte codarea PASC, ceea ce permite o compresie de 4/1 a semnalelor AF digitale, având la bază caracteristica acustică reală a urechii umane.

– Foloseşte o tehnică foarte sofisticată şi eficientă de determinare şi corectare a erorilor (C1, C2, Reed Solomon).

– Foloseşte înregistrarea semnalului digital simultan pe 8 piste longitudinale, ceea ce duce la o cantitate mare de informaţie în condiţia păstrării unei viteze relativ reduse a benzii magnetice.

c – A adoptat o casetă care a preluat de la casetele analogice (audio şi video) părţile pozitive. Astfel:

– Are dimensiuni relativ reduse, asemănătoare cu cele ale casetei audio, fiind astfel uşor de manevrat şi de depozitat.

– Este prevăzută cu un capac mobil care asigură protecţia benzii pe timpul manevrării (asemănător casetei video).

– Este prevăzută cu o serie de ghidaje care asigură informaţiile necesare, la înregistrare sau/ şi redare, cu privire la starea şi performanţele sale (durată etc.).

– Permite ataşarea unei etichete comerciale pe care pot fi inscripţionate o serie de informaţii (durată înregistrare, conţinut casetă etc.).

d – Sistemul poate asigura o serie de facilităţi utilizatorului şi poate fi intercalat în oricare sistem complex de AF, performant.

1.4. FUNCŢIONAREA CASETOFONULUI DIGITAL

Aşa cum s-a menţionat deja în introducere, produsul în sine a fost lansat destul de recent şi este în curs de afirmare pe piaţa bunurilor de larg consum. Din acest motiv, în România nu are încă o denumire unanim acceptată. Cei care au auzit despre el – căci utilizatori sunt încă foarte puţini – şi au cât de cât informaţii asupra modului de funcţionare îi folosesc fie prescurtarea englezească, DCC, fie numirea englezească, „DCC Player", fie numele românizat de „casetofon digital", fie expresia mixtă „casetofon DCC".

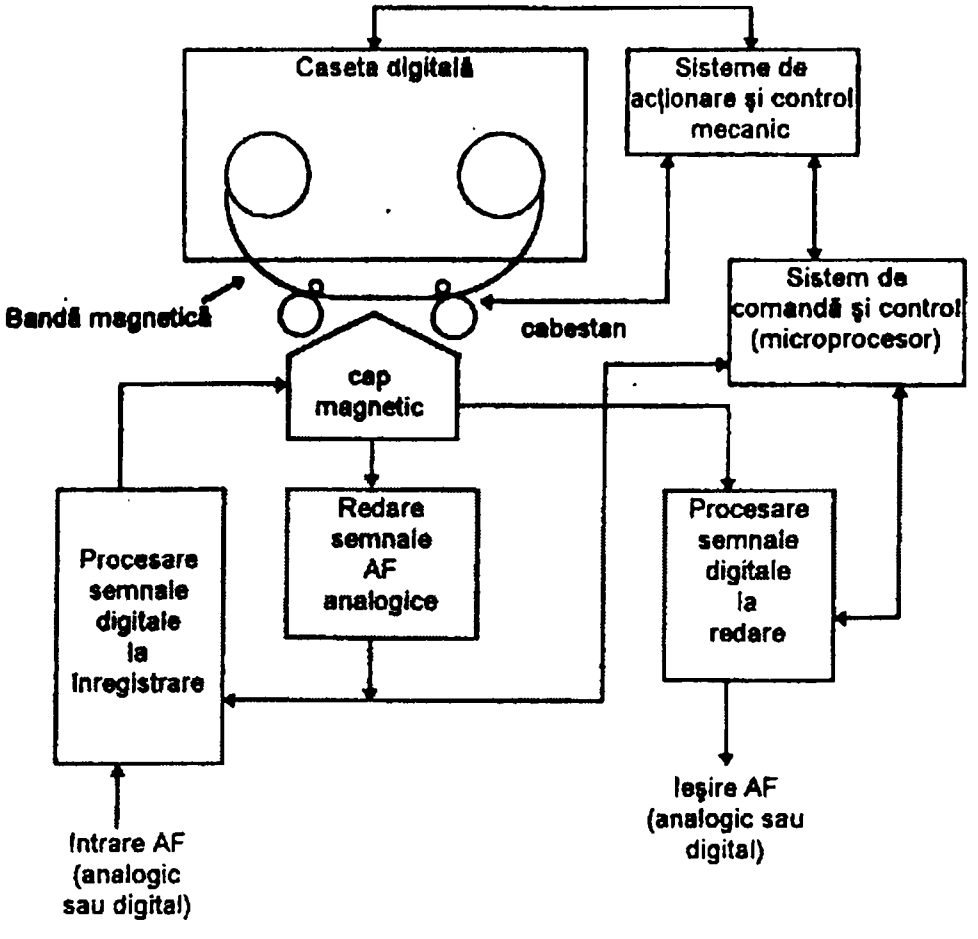


Fig .1.1 Schema bloc generală a casetofonului digital (DCC).

În cele ce urmează vom folosi nepreferenţial toate aceste denumiri, prin ele înţelegându-se acelaşi lucru: un aparat de înregistrare/ redare audio, care foloseşte tehnica digitală şi utilizează ca suport al înregistrării o bandă magnetică închisă într-o casetă compactă.

1.4.1 SCHEMA BLOC

Apariţia recentă a principiului DCC, cât şi a produselor respective, face ca diversitatea tipurilor existente pe piaţă să fie relativ redusă, schema bloc având de data aceasta calitatea de a corespunde majorităţii, dacă nu chiar totalităţii casetofoanelor digitale comercializate actualmente.

Schema bloc cea mai generală a unui casetofon DCC este dată în figura 1.1. În ea sunt reprezentate numai cele mai importante blocuri funcţionale ale

sistemului de înregistrare/ redare DCC, fără a lua în considerare blocurile funcţionale care asigură facilităţile casetofonului, sau alte opţiuni neesenţiale, din punctul nostru de vedere.

1.4.2 PRINCIPALELE BLOCURI FUNCŢIONALE ALE CASETOFONULUI DCC

Luând de bază schema bloc din figura 1.1 vom trece în revistă principalele funcţiuni ale blocurilor sale constructive.

a – **Blocul de procesare a semnalelor digitale la înregistrare**

Acest bloc funcţional cuprinde tot lanţul de circuite care asigură procesarea semnalelor de AF (analogice sau digitale) de la intrarea aparatului până la nivelul de semnale (digitale) aplicate capului magnetic de înregistrare.

La rândul său, blocul de procesare a semnalelor la înregistrare are o schemă bloc care îi detaliază funcţiunile. Aceasta este dată în figura 1.2.

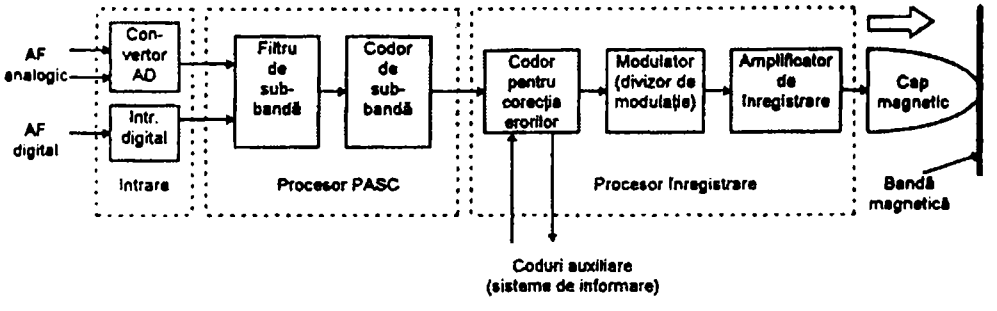


Fig. 1.2 Schema bloc a sistemului de procesare a semnalelor la înregistrare.

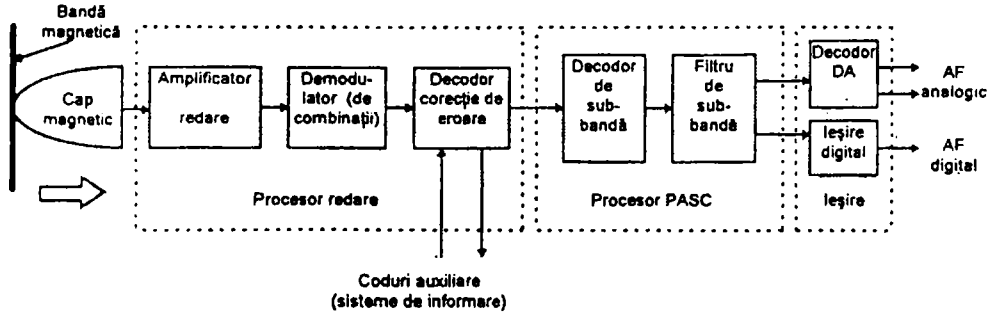


Fig.1.3 Schema bloc a sistemului de procesare a semnalelor la redare.

Primul etaj de procesare a semnalelor AF este prevăzut cu două intrări, fiecare corespunzătoare tipului de semnale AF aplicat :

– o intrare pentru semnalele AF digitale compatibile cu semnalul digital folosit în casetofoanele DCC, care transferă (neprelucrat) semnalul etajelor următoare;

– o intrare pentru semnalele AF analogice (clasice), care prin intermediul unui convertor AD transformă semnalul analogic în semnal AF digital. Indiferent deci de tipul semnalului de la intrarea casetofonului, la ieşirea etajului de intrare AF se asigură un semnal digital standard.

În continuare (vezi figura 1.2), semnalele digitale sunt transmise procesorului PASC (*Precision Adaptive Sub-band Coding* / codare adaptivă, de precizie, pe subbenzi). Rolul principal al acestui codor este compresia semnalului digital în raport 4/1, fără a afecta calitatea înregistrării. Explicarea principiului procesării PASC este dată în capitolul 3.

Semnalul AF digital procesat PASC (comprimat) este aplicat în continuare etajelor de procesare pentru înregistrare. În aceste etaje, semnalele AF digitale suferă o serie de prelucrări necesare protecţiei la perturbaţii, de corectare a erorilor posibile, adăugare de semnale de sincronizare etc.

Rezultatul va fi o succesiune de semnale digitale organizate în blocuri/ cadre/ secvenţe/ grupări, care conţin atât informaţia AF digitală, comprimată PASC, cât şi o serie de alte informaţii (sincro, protecţie erori etc.), necesare la redare.

Aceste semnale sunt aplicate capului de înregistrare, care le depune pe banda magnetică pe 9 piste paralele, 8 cu semnal AF şi una cu semnal auxiliar (în special destinat sincronizării).

Asupra prelucrărilor semnalelor AF digitale din aceste etaje vom reveni în capitolul 4.

***b* – Blocul de procesare a semnalelor digitale AF, la redare**

Acest bloc funcţional cuprinde tot lanţul de circuite care asigură procesarea semnalelor AF digitale, culese de capul de redare de pe banda magnetică, până ce sunt aduse la forma iniţială de semnale AF analogice.

Schema bloc de principiu a lanţului de prelucrare a semnalelor la redare este dată în figura 1.3.

Semnalul AF digital este cules de către capul magnetic de pe banda magnetică (8 piste cu semnal AF şi o pistă cu semnale auxiliare de sincronizare).

În continuare, semnalul este aplicat lanţului de procesare la redare, complementar lanţului de procesare la înregistrare. În principal semnalul este amplificat, demodulat şi corectat (detectarea şi eliminarea erorilor). Procesarea continuă cu decodarea PASC (expandare în raport 1/4), apoi este transmis la etajele de ieşire, care-l pot livra fie sub formă de semnal digital original, fie sub formă de semnal AF analogic (după ce a fost convertit corespunzător într-un convertor DA).

La ieşire, ca şi la intrare, sunt livrate semnale AF în două variante: semnale analogice sau semnale digitale.

Menţionăm încă odată, că prelucrarea semnalelor la redare este inversa prelucrării de la înregistrare, fiecare etaj al lanţului de prelucrare de la înregistrare avându-şi corespondentul (complementarul) în lanţul de prelucrare de la redare.

Asupra amănuntelor procesării semnalelor la înregistrare şi/sau redare se va reveni în capitolele 4 şi 5.

c – **Blocul de redare a semnalelor AF analogice**

Acest bloc funcţional este absolut identic cu blocurile de înregistrare / redare din casetofoanele AF analogice, clasice. În mod normal, această facilitate este foarte puţin folosită de către utilizatorii de DCC, ea neavând sens în contextul în care înregistrarea cu semnal digital este superioară calitativ înregistrării cu semnal analogic. Totuşi, pentru orice eventualitate, unele casetofoane DCC, mai ales cele din prima generaţie, au fost prevăzute cu această facilitate, a redării în AF analogic, (de multe ori, numai cu partea de redare).

Menţionăm că în mod eronat s-a înţeles uneori că o casetă DCC este compatibilă cu o casetă clasică. Compatibilitatea există numai în ceea ce priveşte semnalul AF analogic. Pe variantele constructive actuale de casetofoane digitale, o casetă audio clasică nu poate fi audiată decât dacă respectivul aparat este prevăzut cu un bloc funcţional distinct, care asigură toate funcţiunile unui casetofon clasic. Altfel spus, casetofonul digital trebuie să fie dublat de un casetofon analogic. De asemenea, o casetă digitală, chiar înregistrată analogic, nu poate fi audiată pe un casetofon analogic clasic, în primul rând datorită diferenţelor constructive ale casetelor propriu-zise, care le face să fie incompatibile mecanic.

Întrucât, din punctul nostru de vedere acest bloc funcţional nu prezintă interes, nu vom mai reveni asupra lui.

d – **Sisteme de acţionare şi control mecanic**

Sub această denumire înţelegem toate mecanismele care asigură minimum de funcţiuni mecanice necesare funcţionării unui casetofon DCC. Trebuie menţionat că modul de funcţionare al mecanismelor unui casetofon DCC este ceva mai complex decât cel de la casetofoanele clasice, acest lucru datorându-se în special construcţiei casetei digitale, de complexitate apropiată de cea a casetei video.

Funcţiunile mecanice minime pe care trebuie să le asigure casetofonul DCC sunt :

– încărcarea/descărcarea casetei;

– asigurarea poziţionării corecte a benzii faţă de capete;

– deplasarea benzii prin faţa capului magnetic, cu o viteză liniară riguros controlată, atât la înregistrare, cât şi la redare;

– rularea benzii magnetice cu viteză mare, în ambele sensuri;

– alte deplasări ale benzii, sau chiar ale casetei, impuse de facilităţile casetofonului.

e – **Sistem de comandă şi control asistat de microprocesor**

Principiul DCC, bazat numai pe semnale digitale, se pretează şi chiar impune existenţa unui sistem de control cu microprocesor. Acesta controlează toate comenzile date casetofonului (prin telecomandă sau de la tastatură) şi controlează funcţionarea tuturor blocurilor funcţionale ale casetofonului.

Astfel:

– controlează procesarea semnalelor AF atât la înregistrare cât şi la redare;

– controlează viteza benzii magnetice;

– controlează succesiunea logică a operaţiilor comandate de către utilizator;

– etc.

Într-un cuvânt, microprocesorul este informat şi asistă toate fazele de operare ale casetofonului DCC.

***f* – Caseta digitală**

Caseta digitală (compactă) – DCC – este suportul material al înregistrării magnetice, cu care vine în contact utilizatorul. Este de dimensiuni comparabile cu caseta audio clasică, însă are câteva elemente constructive „împrumutate" de la caseta video (capac de protecţie bandă magnetică, găuri de ghidaj/ control etc.).

Durata înregistrării (pe ambele sensuri) poate atinge 2 ore. Variantele uzuale sunt: 2 x 45 minute, sau 2 x 60 minute. Asupra calităţii înregistrării nu mai revenim, ea fiind net superioară oricărei variante analogice clasice.

În capitolul 6 sunt date o serie de amănunte tehnico-constructive cu privire la caseta digitală propriu zisă.

2

PRINCIPIILE PRELUCRĂRII DIGITALE A SEMNALELOR AF

2.1 SEMNALE ANALOGICE ŞI SEMNALE DIGITALE

Deşi presupunem că majoritatea cititorilor este deja la curent cu noţiunile de semnal analogic şi semnal digital, revenim cu câteva precizări, în intenţia de a reaminti sau de a ordona anumite lucruri deja ştiute.

Prin *semnal analogic* se înţelege semnalul cu variaţie continuă atât în timp, cât şi ca valoare. În figura 2.1 este dat ca exemplu un astfel de semnal. Din figură reiese că pe o perioadă de timp cuprinsă între momentele t_1 şi t_2, presupusă ca fiind cea care interesează, semnalul ia valori cuprinse între A_{min} şi A_{max}, fără salturi ale valorilor sale. Acest mod de variaţie este cunoscut sub numele de variaţie continuă. Numărul valorilor pe care le poate lua semnalul între cele două valori limită este teoretic infinit, iar în practică este limitat de numărul de cifre (digiţi) folosit pentru exprimarea lor.

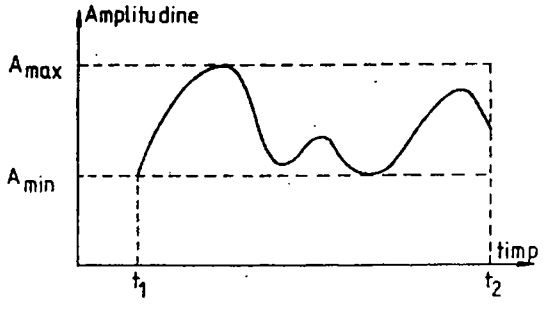


Fig.2.1 Exemplu de semnal analogic.

Prin semnal digital se înţelege un semnal discret atât în timp cât şi ca număr de valori. Pentru a se înţelege mai bine această dublă discretizare, în figura 2.2 este reprezentată trecerea de la semnalul analogic la semnalul digital.

Prima fază, discretizarea în timp, sau eşantionarea, este realizată prin stabilirea valorii semnalului în anumite momente bine determinate. În exemplul din figura 2.2,*a*, semnalul analogic iniţial are 8 momente de discretizare (eşantionare), notate $t_0 \ldots t_7$.

Valoarea semnalului în fiecare dintre aceste momente reprezintă valoarea eşantionului respectiv, care se păstrează până la următoarea eşantionare. Deci, valoarea eşantionului de la momentul t_0 se păstrează până la momentul t_1. Valoarea eşantionului de la momentul t_1 se păstrează până la momentul t_2, şi aşa mai departe.

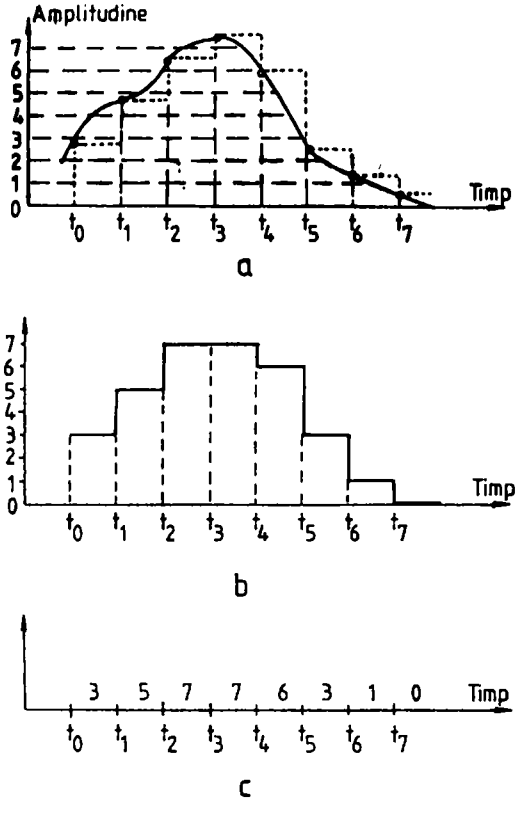


Fig.2.2 Semnal digital:
a) discretizarea în timp (eşantionare); *b*) discretizarea în valoare (cuantizare); *c*) forma numerică.

Următoarea discretizare este cea a valorilor semnalului. În cazul semnalului digital, scara de valori este finită. În exemplul dat, s-a acceptat un număr de valori ale semnalului limitat la 8 (cuprins între 0 şi 7). În consecinţă, fiecărui eşantion i s-a acordat o valoare cuprinsă între 0 şi 7, cea mai apropiată de valoarea reală. Rezultatul este reprezentat în figura 2.2,*b*. Operaţiunea de atribuire a unei valori (într-o gamă limitată şi după un anumit criteriu) fiecărui eşantion, este cunoscută sub numele de cuantizare (sau cuantificare) a semnalului.

Acelaşi semnal digital reprezentat în figura 2.2,*b* poate fi exprimat şi ca o succesiune de valori numerice, corespunzătoare valorii eşantionului (cuantificat), pe durata dintre două eşantionări. Situaţia este reprezentată în figura 2.2,*c*.

Pentru exprimarea valorilor eşantioanelor, în tehnica digitală sunt folosite expresii în cod binar. Acest cod foloseşte sistemul de numeraţie în baza 2, care utilizează numai două cifre: „zero" şi „unu". Sistemul prezintă avantajul că se pretează la prelucrări ulterioare de tip logic, „unu" având semnificaţia „da", de existenţă a unui semnal electric, sub formă de impuls, iar „zero" semnificând „nu" – lipsa semnalului.

Elementul de bază al codărilor binare este, numit „bit", prescurtarea expresiei din limba engleză „binary digit" (cifră binară, cifră în baza doi).

Revenind la modul de exprimare binară a valorilor eşantioanelor, este clar că pentru a avea o scară cât mai mare de valori pentru eşantioane, la exprimarea lor trebuie utilizaţi cât mai mulţi biţi, numărul de valori distincte exprimate cu n biţi, fiind 2^n. De exemplu :

– cu 1 bit pot fi exprimate două valori (două combinaţii): $2^1 = 2$: 0,1;

– cu 2 biţi pot fi realizate patru combinaţii : $2^2 = 4$: 00, 01, 10, 11;

– cu 3 biţi pot fi realizate opt combinaţii : $2^3 = 8$: 000, 001, 010, 011, 100, 101, 110, 111;

– cu 16 biţi pot fi exprimate 2^{16} = 65 536 combinaţii, deci tot atâtea valori distincte etc.

În cazul concret din exemplul din figura 2.2, în care numărul de valori discrete ale nivelului semnalului este 8, acestea pot fi exprimate cu ajutorul a 3 biţi.

Exprimând valorile eşantioanelor ca sumă de puteri ale lui 2, valorilor numerice zecimale ale eşantioanelor le corespund codurile binare din tabelul 2.1, care nu sunt altceva decât aceleaşi valori exprimate în baza de numeraţie 2.

Dacă în continuare, se acceptă ideea că valorile eşantionului reprezentate în cod binar sunt materializate printr-o succesiune de impulsuri, la care „unu" este reprezentat de un impuls de o anumită valoare, iar „zero", de lipsa semnalului, rezultă că pe durata perioadei de eşantionare (dintre două eşantionări) trebuie transmisă valoarea eşantionului precedent. În figura 2.3 este dată forma semnalului din figura 2.2, exprimat în cod binar conform convenţiei enunţate mai sus.

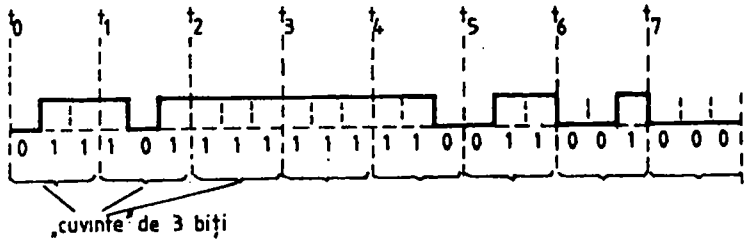


Fig.2.3 Semnal digital exprimat în „cuvinte" de câte trei biţi.

Tabelul 2.1

Eşantion	Valoare zecimală	Cod binar
1 (t_0...t_1)	$3=2^1+2^0$	011
2 (t_1...t_2)	$5=2^2+2^0$	101
3 (t_2 ...t_3)	$7=2^2+2^1+2^0$	111
4 (t_3...t_4)	$7=2^2+2^1+2^0$	111
5 (t_4...t_5)	$6=2^2+2^1$	110
6 (t_5...t_6)	$3=2^1+2^1$	011
7 (t_6...t_7)	$1=2^0$	001
8 (t_7.....)	0=0	000

Cu cât numărul biţilor folosiţi pentru exprimarea valorilor eşantioanelor este mai mare, cu atât precizia este mai bună, dinamica semnalului digital mai mare, iar zgomotul de prelucrare este mai mic. Ca totdeauna, există şi un revers al medaliei. Creşterii numărului de biţi îi corespunde o creştere semnificativă a frecvenţei biţilor, deci probleme suplimentare la procesarea datelor digitale.

În general în tehnica digitală AF, pentru exprimarea valorii eşantioanelor, sunt folosiţi 16 biţi, deci numărul de valori distincte este de 65 536, ceea ce corespunde unei dinamici a sistemului, de peste 90 dB.

2.2 CONVERSIA ANALOGIC – DIGITALĂ

În natură în general, şi în cazul domeniului AF în special, se întâlnesc aproape numai semnale de tip analogic. Din acestea, prin prelucrări se pot obţine semnalele digitale, a căror procesare formează subiectul lucrării de faţă.

Transformarea semnalelor analogice în semnale digitale este una dintre operaţiile de bază ale tehnicii DCC şi condiţionează strict asigurarea calităţii înregistrării audio. Aşa cum s-a menţionat deja la paragraful precedent, trecerea de la semnalul analogic continuu în timp şi ca amplitudine, la semnalul digital discret (în timp şi valoare) se face în două etape :

– eşantionare (discretizare în timp);
– cuantizare (discretizare în amplitudine).

a. Eşantionarea

Prin eşantionare se înţelege procesul de stabilire şi memorare a valorilor semnalului analogic (AF, în acest caz) în anumite momente bine determinate.

Deoarece eşantionarea are un caracter repetitiv, acestei procesări i se pot asocia două mărimi fizice: perioada de eşantionare, T_s (durata de timp între două eşantionări), respectiv, inversa ei, frecvenţa de eşantionare, f_s.

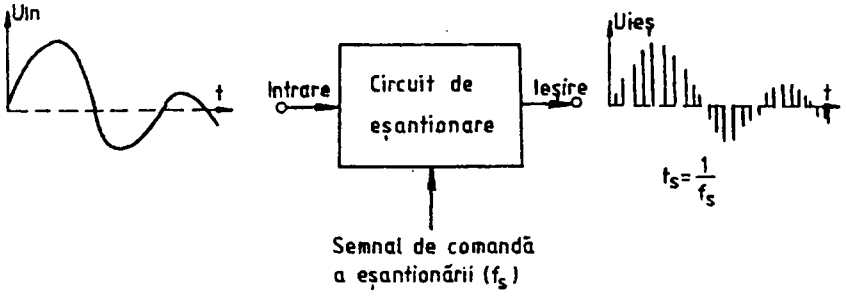


Fig.2.4 Eşantionarea unui semnal analogic.

În figura 2.4 este reprezentat schematic procesul de eşantionare. La intrarea circuitului de eşantionare (*sampling circuit*, în limba engleză) se aplică semnalul analogic. Cu o perioadă T_s (sau cu frecvenţa f_s) are loc eşantionarea semnalului. La ieşire rezultă o succesiune de semnale discrete care nu sunt altceva decât eşantioanele respective. Acest tip de semnal (de ieşire) se caracterizează prin aceea că are valori bine determinate numai pentru momentul eşantionării, nedând nici o indicaţie asupra variaţiei semnalului între două eşantionări. Din acest motiv, reiese (chiar la nivel de bun simţ) că precizia aproximării semnalului analogic este funcţie de frecvenţa de eşantionare şi că aceasta trebuie să fie cât mai mare, pentru ca rezultatele conversiei analogic-digitală, cât şi prelucrările ulterioare ale semnalelor să fie cât mai bune (mai performante). Problema a fost pusă şi rezolvată şi teoretic, concluzia fiind că frecvenţa de eşantionare trebuie să fie de cel puţin două ori mai mare decât frecvenţa maximă a semnalului analogic eşantionat. Condiţia este cunoscută în literatura de specialitate sub numele de „criteriul de eşantionare al lui Nyquist".

În cazul prelucrării digitale AF (vezi tabelul 1.1, liniile 2 şi 6.1), această condiţie este îndeplinită de toate cele trei sisteme audio digitale, pentru marele public.

În cazul expres al tehnicii DCC, pentru varianta cea mai performantă, cu frecvenţa audio maximă de 22 000 kHz, frecvenţa de eşantionare este de 48 kHz, iar pentru varianta la care frecvenţa audio maximă este 20 000 kHz, frecvenţa de eşantionare este de 44,1 kHz, situaţie identică celei întâlnite în cazul CD.

Circuitul care realizează operaţia de eşantionare este cunoscut sub numele de „circuit de eşantionare şi memorare" (*sample* & *hold circuit*, în limba engleză). Schema sa de principiu, într-o variantă foarte simplificată, este dată în figura 2.5.

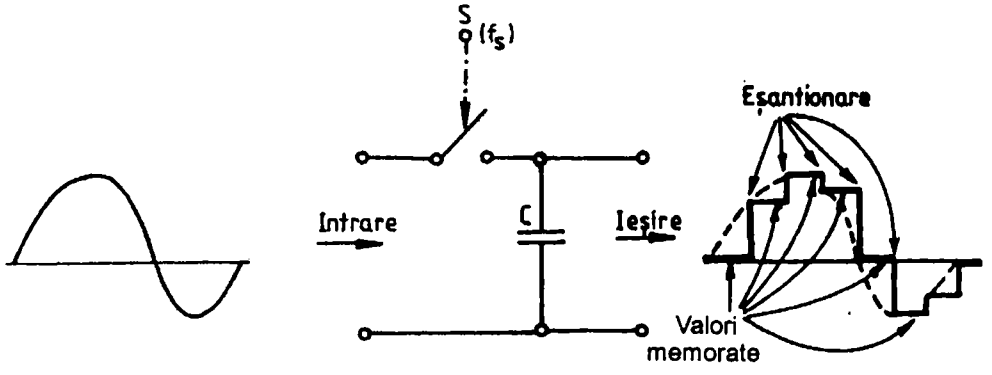


Fig.2.5 Circuit de eşantionare – memorare.

La intrare i se aplică un semnal analogic. Cu frecvenţa f_s (periodicitate T_s), comutatorul *S* este închis pentru o perioadă extrem de scurtă de timp. Închiderea sa reprezintă momentul eşantionării. În acel moment, valoarea semnalului de la intrare (tensiunea de intrare) este transmisă la ieşire şi în acelaşi timp încarcă un condensator, *C*, conectat în paralel cu ieşirea. Condensatorul reprezintă memoria circuitului, el păstrând la bornele de ieşire valoarea eşantionului (tensiunea la care a fost încărcat), până la următoarea închidere a comutatorului *S* (tot pentru un timp foarte scurt). În acel moment, la ieşire este transmisă valoarea noului eşantion şi memorată până la următoarea eşantionare ş.a.m.d. Acest tip de circuit stă la baza funcţionării convertorului analogic-digital şi este folosit ca principiu şi în convertorul digital-analogic, de refacere a semnalului analogic AF.

În legătură cu această operaţiune mai trebuie subliniat faptul că, în realitate, prelucrarea semnalelor atrage după sine o serie de deformări (distorsionări), ale semnalului util, datorate în special următoarelor două cauze:

– apropierea dintre spectrul semnalului util şi spectrul semnalului perturbator, datorat procesării de eşantionare;

– apariţia unor semnale perturbatoare, consecinţă a fenomenelor tranzitorii de la eşantionare.

Aceste perturbaţii impun utilizarea unor filtre de separare de tip „trece jos" de foarte mare eficienţă. În tehnica DCC, ca şi în celelalte sisteme digitale de înregistrare a sunetelor (DAT şi CD), problema filtrajului se rezolvă prin folosirea a trei tipuri de filtraje „trece jos", fiecare cu particularităţile sale :

– filtre pasive cu 7 până la 9 secţiuni. Neajunsul acestor filtre constă atât în complexitatea lor constructivă, cât şi în faptul că fiind neliniare şi necesitând o pantă foarte mare a caracteristicii de selectivitate, introduc distorsiuni de fază ale semnalului;

– filtre active, care sunt mai eficiente, însă au câteva dezavantaje, dintre care le menţionăm pe cele mai importante: necesită o tehnologie de realizare foarte riguroasă, deci şi costuri ridicate şi introduc zgomot suplimentar pe semnal;

– filtre digitale, care, deşi extrem de complexe, sunt preferate în ultima vreme datorită performanţelor lor excelente şi a faptului că sunt realizate integrat, eliminându-se astfel dificultăţile tehnologice ulterioare, din timpul fabricării aparaturii de înregistrare-redare.

b. Cuantizarea

Cuantizarea (*quantification*, în limba engleză), reprezintă cea de a doua operaţiune de discretizare a semnalului analogic, şi anume, discretizarea nivelului (amplitudinii). Operaţiunea constă în atribuirea unei valori bine determinate fiecărui eşantion.

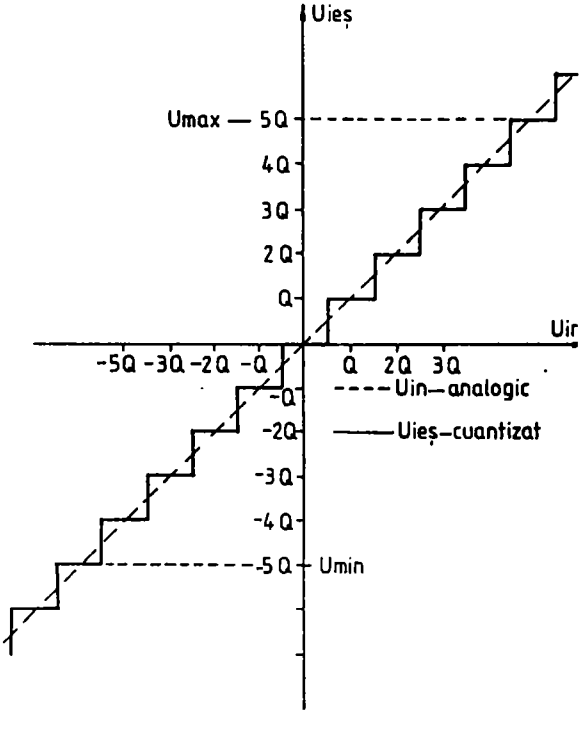


Fig.2.6 Principiul cuantizării nivelelor de semnal.

Spre deosebire de semnalele analogice a căror mărime (amplitudine), la un moment dat poate fi exprimată cu o precizie foarte mare, deci cu un număr mare de cifre, valoarea semnalelor digitale (a eşantionului) este exprimată printr-un număr finit de valori, dintr-o gamă predeterminată. Valorile gamei sunt diferite între ele cu o anumită mărime, numită „cuantă" sau „treaptă de cuantizare".

Principiul cuantizării este redat în figura 2.6, unde cu *Q* s-a notat treapta de cuantizare (cuanta). Aşa cum reiese din figură, semnalelor analogice cuprinse într-o plajă de valori li se atribuie o valoare digitală bine determinată, cuprinsă într-o gamă limitată de valori posibile. Astfel:

– tuturor semnalelor de la intrare al căror nivel este cuprins între -0,5 *Q* şi +0,5 *Q*, li se atribuie la ieşire valoarea 0;

– semnalelor al căror nivel la intrare este cuprins între +0,5 *Q* şi 1,5 *Q*, li se atribuie la ieşire valoarea 1 *Q*;

– semnalelor al căror nivel la intrare este cuprins între 1,5 *Q* şi 2,5 *Q*, li se atribuie la ieşire, valoarea 2 *Q*;

– etc.

Extinderea corespondenţei semnal analogic de intrare – semnal digital de ieşire (cuantizat) se poate face pentru toată plaja de valori digitale predeterminate, care, aşa cum s-a menţionat deja, sunt în număr finit.

Numărul nivelurilor de cuantizare este determinat de numărul biţilor care exprimă valoarea eşantionului. În acest caz şi reciproca este valabilă, numărul biţilor utilizaţi determinând numărul nivelurilor de cuantizare.

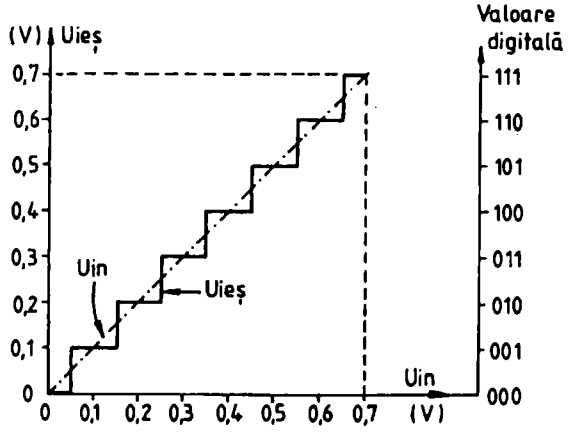


Fig.2.7 Exemplu practic de cuantizare cu 8 niveluri.

Pentru a înţelege mai bine fenomenul, în figura 2.7 se dă un exemplu practic de cuantizare a unui semnal de amplitudine 0,7 V (vârf la vârf), care este cuantizat în 8 niveluri cu treapta de 0,1 V.

Cele 8 niveluri de cuantizare sunt exprimate digital cu ajutorul a 3 biţi ($2^3=8$). Cele 8 valori discrete sunt repre-zentate în partea dreaptă a figurii, fiecărei cuante (treaptă de nivel), corespunzându-i un salt de o unitate digitală. Exprimarea digitală a nivelurilor eşantioanelor (cuantizarea) se poate face în două moduri:

– ***Exprimare asimetrică.*** Aceasta se caracterizează prin faptul că semnalul analogic este poziţionat asimetric faţă de axa de referinţă, el putând lua fie numai valori pozitive, fie numai valori negative. În practică, uzual se foloseşte aproape numai cazul în care semnalul ia doar valori pozitive (referinţă zero).

În figura 2.8,*a* este dat un exemlu care ilustrează situaţia. Gama de valori pe care le poate lua semnalul analogic este cuprinsă între 0 şi A_{max}. Numărul nivelurilor de cuantizare este 8, iar valorile respective pot fi exprimate cu ajutorul a 3 biţi.

Din figură reiese modul în care din semnalul analogic, prin intermediul caracteristicii de cuantizare, se determină semnalul digital. Cele 8 niveluri de cuantizare sunt notate de la 0 la 7 şi în exemplul din figură, în care valorile eşantioanelor sunt exprimate digital cu ajutorul a 3 biţi, plaja de valori (digitale) este cuprinsă între 000 şi 111.

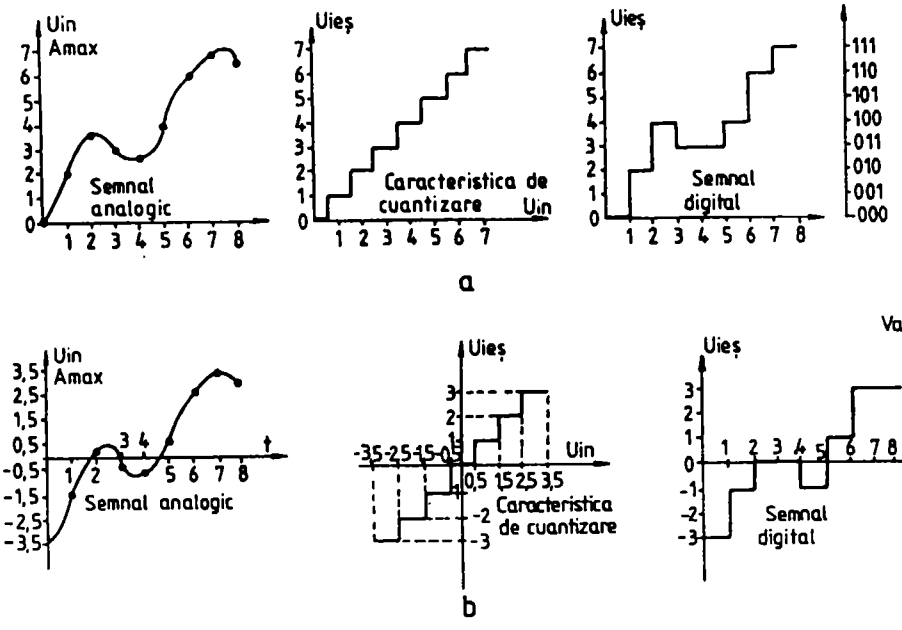


Fig.2.8 Moduri de cuantizare:
a) asimetrică; *b*) simetrică.

Tabelul 2.2

Valoare zecimală	Valoare digitală
0	0 000 000 000 000 000
1	0 000 000 000 000 001
2	0 000 000 000 000 010
3	0 000 000 000 000 011
.....	.....
65 534	1 111 111 111 111 110
65 535	1 111 111 111 111 111

În practica sistemelor AF digitale, pentru exprimarea nivelurilor eşantioanelor sunt folosiţi 16 biţi. În acest caz, numărul nivelurilor valorilor digitale este de 65 536 (2^{16}). Valorile eşantioanelor vor fi cuprinse deci între 0 şi 65 536 şi pot fi exprimate digital conform tabelului 2.2 .

– ***Exprimare simetrică.*** Acest mod de exprimare este mai apropiat de sensul fizic al semnalelor AF, care iau valori într-o plaje simetrică faţă de axa zero. Numărul de valori atribuite pentru exprimarea nivelurilor de cuantizare este acelaşi ca şi în cazul exprimării asimetrice, numai că modul lor de atribuire diferă.

Valorile digitale (exprimarea binară) corespunzătoare valorilor pozitive ale semnalului se atribuie ca în cazul exprimării asimetrice, iar valorile digitale (în cod binar) corespunzătoare valorilor negative ale semnalului se obţin prin determinarea *complementului* expresiei care dă valoarea semnalului pozitiv de aceeaşi amplitudine. Deci, pentru a exprima valoarea semnalului negativ, se pleacă de la expresia digitală care dă valoarea semnalului pozitiv de aceeaşi amplitudine şi se schimbă valoarea biţilor din 1 în 0, şi invers. În final, se adaugă 1 la cel mai puţin semnificativ bit (LSB – ultimul bit al expresiei digitale).

Tabelul 2.3

Valoare zecimală	Valoare digitală (complement)
+ 32 767	0 111 111 111 111 111
+ 32 766	0 111 111 111 111 110
+ 32 765	0 111 111 111 111 101
.....	.....
+3	0 000 000 000 000 011
+2	0 000 000 000 000 010
+1	0 000 000 000 000 001
0	0 000 000 000 000 000
-1	1 111 111 111 111 111
-2	1 111 111 111 111 110
-3	1 111 111 111 111 101
-4	1 111 111 111 111 100
.....	.....
-32 766	1 000 000 000 000 010
-32 767	1 000 000 000 000 001
-32 768	1 000 000 000 000 000

Această metodă de atribuire a valorilor digitale pentru semnalele negative este cunoscută în literatura de specialitate sub numele de „metoda complementului", sau „metoda complementului față de 2", de la expresia din limba engleză, 2's complement.

Pentru exemplificare, în figura 2.8,*b* este dat un exemplu de cuantizare a nivelurilor semnalului digital prin metoda complementului (exprimare simetrică). Plecând de la un semnal analogic asemănător cu cel din figura 2.8,*a* şi utilizând o caracteristică de cuantizare, simetrică, cu 8 niveluri, se obţine semnalul digital din figură. Important este de urmărit modul de acordare a valorilor digitale (expresiile binare ale eşantioanelor):

– valorile celor 3 niveluri pozitive sunt: 001, pentru 1; 010, pentru 2; şi 011, pentru 3;

– valorile negative sunt obţinute prin metoda complementului. Astfel, pentru a exprima valoarea -1 a semnalului, se pleacă de la expresia corespunzătoare valorii +1: 001. Se înlocuiesc biţii prin complementarul lor, deci expresia devine: 110, apoi se adaugă 1. Expresia care rezultă în final pentru -1 va fi, deci, 111. Asemănător, pentru -2 se obţine expresia 110, iar pentru -3, expresia 101. De remarcat în acest caz, că semnul valorii este indicat de MSB (cel mai semnificativ bit al expresiei), care ia valoarea 0, pentru „+", şi valoarea 1, pentru „–".

În cazul exprimării simetrice, cu valorile obţinute prin metoda complementului, pentru cuantizarea cu 16 biţi, valorile digitale ale celor 65 536 de niveluri sunt cele din tabelul 2.3.

Referitor la cuantizare, trebuie reamintit că această prelucrare a semnalelor, ca şi eşantionarea, introduce un *zgomot* suplimentar, peste semnalul util de AF. Mărimea zgomotului este funcţie de numărul nivelurilor de cuantizare. Cu cât numărul lor este mai mare (deci şi numărul de biţi este mai mare, iar cuanta mai mică), şi zgomotul este mai redus. Expresia raportului semnal/zgomot datorat cuantizării este: S/N (dB) = 6,02 x n + 1,76, unde cu S/N s-a notat raportul semnal/zgomot (prescurtare a expresiei englezeşti „signal to noise"), iar cu n s-a notat numărul biţilor folosiţi.

Pentru cazul concret al prelucrării digitale AF, în care se folosesc 16 biţi, valoarea raportului semnal/zgomot este teoretic de 98 dB, valoare foarte bună, care este cu mult acoperitoare pentru cerinţele aparaturii AF destinată marelui public, şi chiar şi pentru cerinţele actuale ale aparaturii profesionale.

2.3 CONVERSIA DIGITAL – ANALOGICĂ (DA)

Conversia semnal digital – semnal analogic este prelucrarea inversă conversiei analogic-digitale (AD), descrisă la paragraful precedent. Ea constituie ultima prelucrare a semnalului digital în lanţul prelucrărilor de la redare, şi constă în transformarea semnalului digital (coduri binare) într-un semnal analogic cât mai asemănător (ideal, chiar identic), cu semnalul original, de la înregistrare.

Circuitele electronice care asigură realizarea conversiei DA sunt cunoscute sub numele generic de „convertoare digital-analogice" (CDA).

În figura 2.9,*a* este dată foarte simplificat schema de principiu a unui convertor DA, pentru semnale digitale de 4 biţi. Cei 4 biţi ai semnalului sunt aplicaţi în paralel la intrare, fiecare comandând un comutator: S_0.....S_3. Bitul cel mai semnificativ, de valoarea cea mai mare în codul digital (MSB), comandă comutatorul S_3. Acesta se conectează la valoarea 1 şi se deconectează la valoarea 0, a bitului de comandă. Acelaşi lucru se întâmplă cu fiecare bit al semnalului. Bitul cel mai puţin semnificativ (LSB) – de valoarea cea mai mică în codul digital – comandă comutatorul S_0 (de asemenea: „unu" – închis, „zero" –deschis).

La un anumit moment, prin aplicarea semnalului digital, comutatoarele trec în situaţia corespunzătoare codului digital care exprimă valoarea eşantionului. Curentul stabilit prin comutatorul închis este proporţional cu poziţia bitului în codul digital. Astfel, curentul de valoarea cea mai mică, *I*, corespunde bitului de valoarea cea mai mică, LSB, care exprimă unităţile numărului digital. Comutatorul corespunzător este S_0, iar contactul este închis pentru valoarea de bit „unu" şi deschis (deconectat), pentru valoarea de bit „zero". Bitul care exprimă zecile comandă comutatorul S_1,care conectează (digital 1), sau nu (digital 0), sursa de 2 *I*. Se ajunge astfel la bitul de valoarea cea mai mare, MSB, care comandă (în acest exemplu de coduri cu 4 biţi) comutatorul S_3. Acesta, la rândul său, asigură conectarea (la valoarea 1 a bitului), sau deconectarea (la valoarea de bit „0") sursei cu cel mai mare curent (8 *I*).

Curentul obţinut prin însumarea curenţilor care trec prin fiecare comutator închis este proporţional cu valoarea digitală a eşantionului respectiv, corespunzător unui anumit moment. Valoarea este stocată în condensatorul *C*, până în momentul în care se reface, în mod asemănător, valoarea noului eşantion.

Pentru exemplificare, în figura 2.9,*b* este dat un exemplu de semnal care exprimă valoarea digitală a 9 eşantioane succesive de semnal AF, în momentele t_0....t_8. Valoarea fiecărui eşantion este exprimată cu ajutorul a 4 biţi. Valorile eşantioanelor refăcute în momentele t_0....t_8 sunt reprezentate în figura 2.9,*c*. Semnalul AF refăcut pe condensatorul *C*, care memorează valoarea eşantionului între două momente ale refacerii semnalului, este reprezentat cu linie întreruptă, iar

semnalul final de AF obținut după o serie de filtrări succesive este reprezentat punctat în aceeaşi figură.

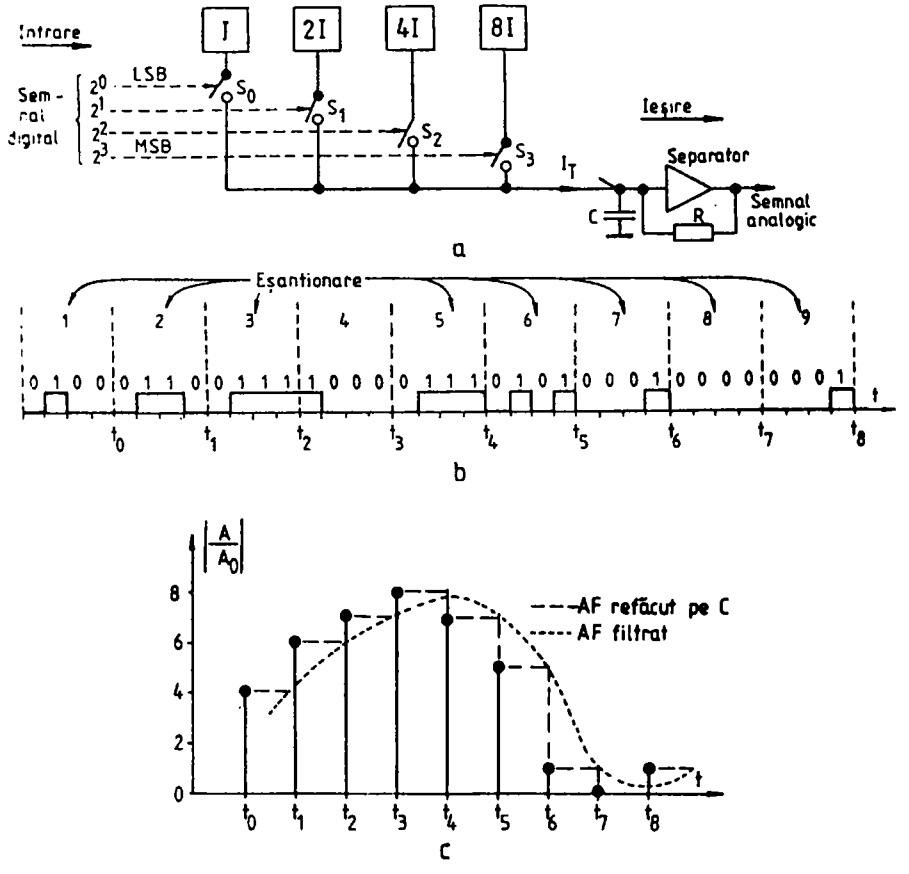


Fig.2.9 Conversia digital-analogică:
a) principiul de funcționare al convertorului DA (schema bloc); *b*) exemplu de semnal digital (4 biți), pentru exprimarea valorii a 9 eşantioane; *c*) forma semnalului analogic refăcut din semnalul digital.

Este evident că un număr cât mai mare de eşantioane în aceeaşi unitate de timp (frecvență de eşantionare crescută) şi o cuantizare mai fină (un număr cât mai mare de biți care să exprime valoarea eşantionului) duc la rezultate mai bune, adică, la un semnal AF refăcut cât mai fidel semnalului original.

La refacere, tactul (frecvența de reconstituire a eşantioanelor) cât şi numărul treptelor de cuantizare (reflectat în numărul biților folosiți pentru a exprima valoarea eşantionului) sunt aceleaşi cu cele utilizate la eşantionare (conversia AD), condiție care asigură compatibilitatea celor două conversii, şi care motivează faptul că pentru noțiunile respective, în literatura de specialitate sunt folosiți aceeaşi termeni (frecvență de eşantionare şi trepte de cuantizare/ număr de biți pentru exprimarea valorii eşantionului), atât pentru conversia AD, cât şi pentru conversia DA.

În practica refacerii semnalului analogic sunt cunoscute o serie de tipuri de convertoare DA care au la bază câteva principii, devenite deja clasice în tehnica digitală.

– convertor DA cu curenţi proporţionali;
– convertor DA cu reţea rezistivă „în scară";
– convertor DA cu surse de curent continuu;
– convertor DA cu structură mixtă.

Actualmente, în tehnica digitală AF (deci şi în cazul DCC) sunt folosite convertoare foarte sofisticate, cu o prelucrare complexă a semnalului, care refac informaţia AF cu o precizie superioară oricărui tip de convertor clasic cunoscut. Aceste convertoare sunt realizate în tehnică integrată, şi în marea lor majoritate folosesc *principiul supraeşantionării.*

Supraeşantionarea este o tehnică de prelucrare a semnalelor AF digitale, care constă în introducerea unor eşantioane suplimentare (create artificial) între eşantioanele reale ale semnalului. Introducerea acestor eşantioane suplimentare are ca efect obţinerea unor performanţe superioare în procesarea digitală, echivalente cu cele obţinute printr-o eşantionare cu o frecvenţă mai mare şi o cuantizare mai fină decât cele folosite în realitate (de unde şi numele de „supraeşantionare"). „Cheia" acestui tip de procesare este modul în care sunt create noile eşantioane, ele trebuind să fie cât mai asemănătoare (în sens probabilistic), cu cele reale (dacă ar exista). Această condiţie asigură fidelitatea semnalului AF refăcut, faţă de semnalul original.

Atât principiile teoretice care stau la baza metodei supraeşantionării, cât şi soluţiile tehnice foarte elaborate utilizate în tehnica DCC „la modă" depăşesc nivelul propus al lucrării, aşa că nu vom insista asupra lor. Facem acest lucru, cu atât mai mult cu cât utilizatorul, sau chiar depanatorul de DCC nu are acces la circuitele respective, ele fiind realizate sub formă de circuite integrate cu posibilităţi reduse de acces din exterior.

3

PRINCIPIILE PROCESĂRII PASC

PASC este prescurtarea expresiei englezeşti: *Precision Adaptive Sub-band Coding*, care poate fi tradusă în româneşte prin „codare adaptivă a sub- benzilor" (sau, „pe subbenzi").

PASC este o tehnică de procesare a semnalelor AF digitale, specifică înregistrării pe bandă magnetică, utilizată în special în sistemele DCC (casetofoane digitale). Prin procesarea PASC se obţine o compresie a semnalului AF digital, în sensul unei reduceri substanţiale a numărului de biţi cu care este exprimată informaţia, fără ca acest lucru să afecteze în final calitatea sunetului înregistrat/ redat. Această compresie a expresiei digitale a semnalului AF este o procesare „inteligentă", ea bazându-se pe cunoaşterea caracteristicii acustice a urechii şi a comportamentului său în prezenţa mai multor semnale simultane şi de niveluri diferite.

3.1 CARACTERISTICA DE AUDIBILITATE

Aşa cum se ştie, urechea umană sesizează sunetele (variaţii de presiune) care depăşesc o anumită valoare (intensitate) şi se încadrează într-o anumită gamă de frecvenţe (ton). Se ştie de asemenea că în general urechea poate auzi sunete a căror frecvenţă este cuprinsă (teoretic) între 20 Hz şi 20 kHz, iar sensibilitatea sa este funcţie atât de intensitatea semnalului care o excită, cât şi de tonul său. Sensibilitatea maximă a urechii este localizată în jur de 3 kHz.

Pentru urechea umană s-a stabilit statistic şi un prag de audibilitate valabil pentru toată gama de sunete audibile. Pragul de audibilitate este nivelul minim al sunetului pe care urechea îl percepe ca atare.

Caracteristica determinată statistic a pragului de audibilitate pentru urechea umană este dată în figura 3.1.

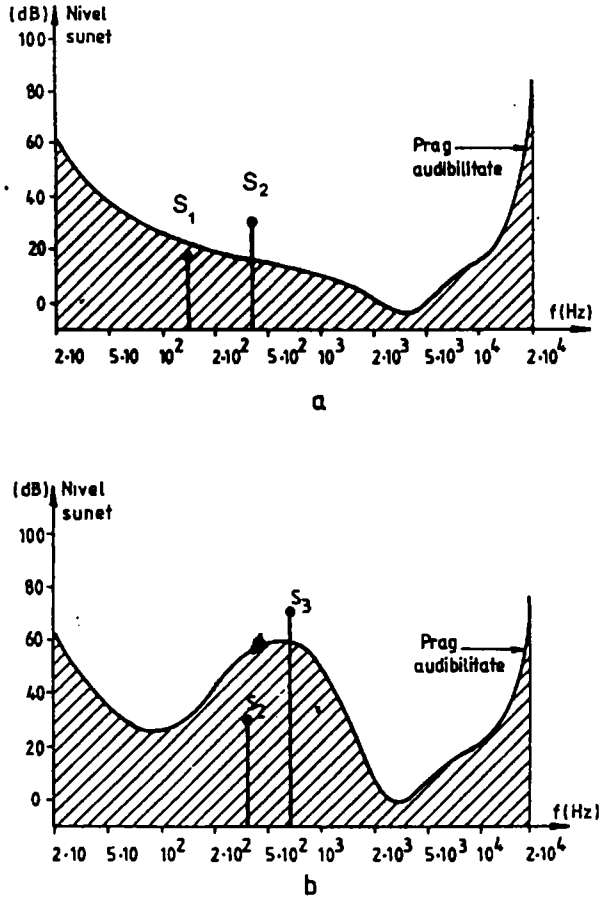


Fig.3.1 Pragul de audibilitate:
a) în condiţii de audiţie a unor semnale de intensitate mică (referinţa);
b) în condiţii de audiţie a unui semnal mic în prezenţa unui semnal puternic.

Evident că există diferenţe foarte mari între caracteristicile a două persoane diferite, între caracteristicile aceleiaşi persoane realizate la vârste diferite sau chiar între caracteristicile celor două urechi ale aceleiaşi persoane. Din acest motiv caracteristicile luate în considerare au la bază statistici făcute prin sondarea unui segment foarte mare de populaţie, iar în cazul prelucrării PASC în mod special au fost luate în considerare numai caracteristicile unor persoane cu auz deosebit de bun şi educat muzical.

În figura 3.1,*a* este dată caracteristica de audibilitate în cazul unei audiţii normale, cu sunete de nivel mic şi mediu.

În exemplul dat, urechea este excitată cu două sunete S1 şi S2 de nivele relativ mici. Sunetul S1 fiind sub pragul de percepere al urechii nu este auzit iar sunetul S2 care depăşeşte pragul este auzit (perceput ca atare) de către ureche.

În figura 3.1,*b* este redată caracteristica de audibilitate a aceleeaşi persoane în cazul audiţiei unui sunet de intensitate medie, S2, în prezenţa unui sunet puternic, S3.

Situaţia reflectă particularitatea urechii umane de a-şi modifica pragul de audibilitate în prezenţa unui sunet puternic, desensibilizându-se. În figură este prezentat chiar acest efect al sunetului puternic S3, care face ca sunetul S2, perfect audibil în condiţii normale să nu mai poată fi auzit în prezenţa lui S3, caracteristica urechii modificându-se pe perioada existenţei semnalului puternic ca în figură. Fenomenul este cunoscut şi sub numelede „mascare a sunetelor slabe de către sunetele puternice".

Având în vedere comportamentul urechii umane rezultă deci că nu toate sunetele prezente la un anumit moment în semnalul AF original sunt audibile. Sunetele neaudibile sunt :

- sunetele cu nivelul mai mic decât pragul de audibilitate al urechii;
- sunetele mascate de către sunete puternice simultane.

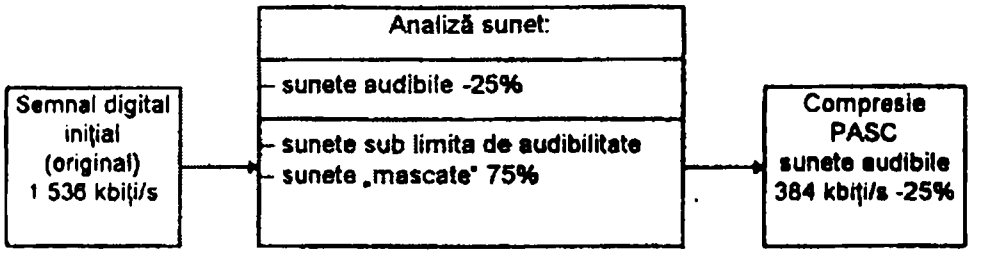


Fig.3.2 Compresia PASC: principiu.

Întrucât prelucrarea tehnică a semnalelor AF originale presupune captarea tuturor sunetelor prezente la un moment dat la intrarea sistemului, semnalul AF va conţine deci şi o serie de informaţii practic inutile. Prelucrarea PASC realizează în principiu tocmai eliminarea informaţiei inutile fără a afecta totuşi calitatea sunetului audibil la ieşire.

Schematic, prelucrarea PASC este redată în figura 3.2.

Ea constă în analiza semnalelor AF originale, din care se păstrează numai informaţia privitoare la sunetele audibile. Pe bază de analize statistice, raportul de compresie în cazul PASC a fost stabilit la 4/1.

Revenind la cazul concret DCC, în care semnalul original este eşantionat cu o frecvenţă de 48 kHz, iar valoarea fiecărui eşantion (cazul stereo: AF stânga şi AF dreapta) este exprimată cu ajutorul a câte 16 biţi, rezultă o frecvenţă a biţilor de: 2 x 16 x 48 = 1 563 kbiţi/s.

Prin compresie – eliminarea biţilor care conţin date cu privire la semnalele care nu sunt auzite – frecvenţa biţilor informaţiei se reduce la 384 kbiţi/s, mult mai uşor de prelucrat în continuare.

3.2 FAZELE PROCESĂRII PASC

Procesarea PASC, foarte eficientă (reducere a informaţiei cu 75% fără afectarea calităţii sunetului) se bazează şi pe faptul că pragul de audibilitate se modifică în prezenţa sunetelor puternice.

În realitate modificarea nu este globală, pentru întreaga gamă de frecvenţe audio, ci afectează numai sunetele dintr-o bandă de frecvenţe apropiată frecvenţei sunetului puternic. Situaţia este redată schematic în figura 3.3.

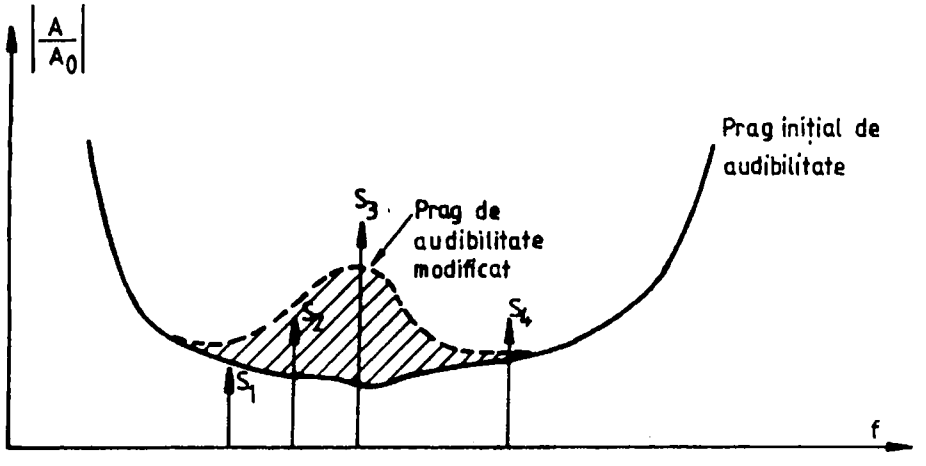


Fig.3.3 Limitarea în frecvenţă a efectului de mascare a sunetelor de intensitate mai mică de către sunetele de intensitate mare.

În figură sunt reprezentate patru semnale de nivele diferite :

– S1, de nivel mic, sub pragul normal de audibilitate (care nu va fi auzit în nici o situaţie);

– S2, de nivel ceva mai ridicat, superior pragului de audibilitate normal (care poate fi auzit dacă nu sunt prezente simultan şi alte semnale de nivel mai mare, într-o gamă apropiată de frecvenţe);

– S3, de nivel mare, care prin prezenţa sa va masca semnalele mai mici din zona de frecvenţe apropiate (în exemplul dat , S2 nu se va auzi, în prezenţa lui S3);

– S4 – semnal de nivel mediu, apropiat de cel al semnalului S2, însă mult mai depărtat ca frecvenţă de S3 (acesta se va auzi chiar în prezenţa semnalului S3, deoarece zona de frecvenţă din care face parte nu este afectată de S3) .

Exemplul este pur calitativ însă subliniază faptul că „mascarea"' sunetelor de intensitate mai mică de către cele de intensitate mai mare este limitată în frecvenţă. Acest lucru duce automat la necesitatea analizării semnalului nu numai în intensitate ci şi în frecvenţă. Altfel spus, analiza semnalului AF trebuie făcută în toată gama de AF, însă pe benzi înguste de frecvenţe.

3.2.1 CONCEPTUL DE PROCESARE PASC – ECHIVALENTUL ANALOGIC

Pentru a înţelege acest tip de procesare (compresie), mai puţin (sau chiar deloc) cunoscut vom încerca să prezentăm pentru început varianta sa analogică, mai apropiată de modul de înţelegere fizică a lucrurilor. Compresia este realizată în mai multe faze redate schematic în figura 3.4, folosind, aşa cum s-a menţionat deja, modelul de semnal analogic.

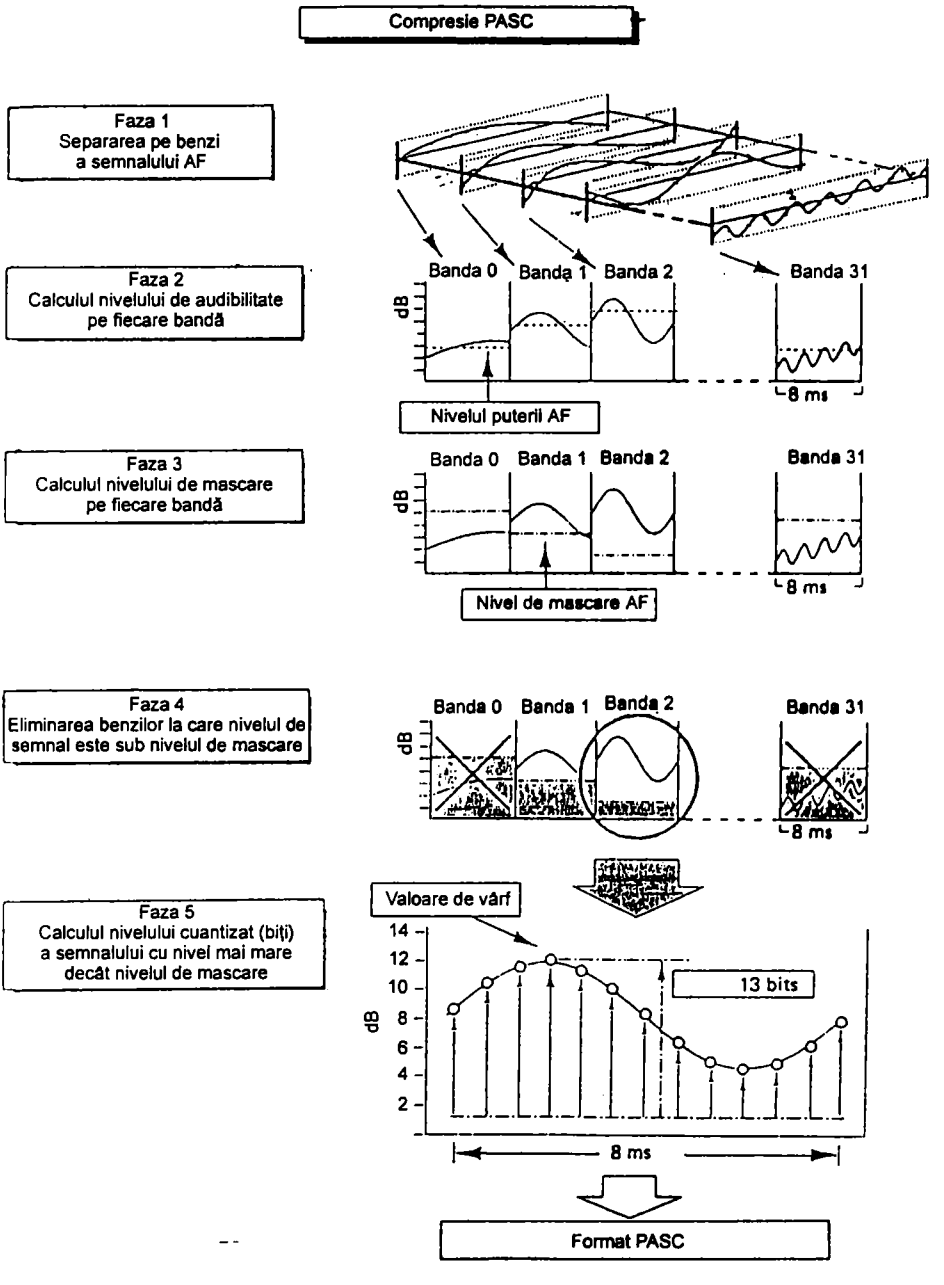


Fig.3.4 Fazele procesării PASC.

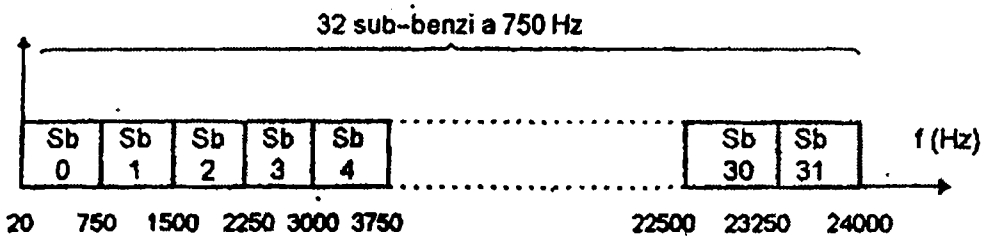


Fig. 3.5 Poziţionarea celor 32 sub-benzi AF pe axa frecvenţelor.

Prima fază constă în analiza în frecvenţă a semnalului şi separarea lui – prin filtrare – în 32 subbenzi de semnal de câte 750 Hz. Această valoare se obţine plecând de la banda maximă de frecvenţe audio, de ordinul a 24 kHz (1/2 din frecvenţa de eşantionare, care are valoarea de 48 kHz). Împărţind deci banda maximă AF la 32, numărul subbenzilor, se obţine (în final) lăţimea de bandă de 750 Hz/ subbandă.

Poziţia subbenzilor pe o axă a frecvenţelor este dată în figura 3.5.

A doua fază constă în compararea nivelului semnalului de AF din fiecare subbandă cu nivelul pragului normal de audibilitate al urechii (pentru subbanda respectivă).

A treia fază constă în compararea nivelului semnalului de AF din fiecare subbandă cu pragul de mascare (pragul de audibilitate extins, în prezenţa unui semnal puternic) .

Rezultatul fazelor a doua şi a treia se materializează în faza a patra în care sunt eliminate semnalele care se plasează sub pragul limită al subbenzii (pragul de audibilitate normal sau pragul de mascare).

Faza a cincea constă în aprecierea cantitativă a valorii de vârf a semnalului din fiecare subbandă şi atribuirea unui anumit număr de biţi pentru exprimarea ei. Această fază este deja una de prelucrare digitală, şi asupra ei vom reveni.

Din acest moment se poate trece la descrierea prelucrării semnalelor AF digitale pentru a fi aduse la formatul PASC .

3.2.2 COMPRESIA PASC A SEMNALELOR DIGITALE

Presupunând înţeles principiul şi fazele de compresie PASC, pe model analogic, se poate aborda modelul real, pe semnale digitale. Revenim deci la fazele compresiei, pornind de la semnalul AF digital, eşantionat cu f_s = 48 kHz şi cu o rată a biţilor de 1356 kbiţi/ s (48 000 eşantioane x 2 x16 biţi/ eşantion).

***a*) Faza I: Divizarea semnalului în 32 subbenzi de frecvenţă, cu ajutorul filtrelor digitale**

În realitate această divizare nu este una analogică, realizată cu filtru trece bandă care practic nici n-ar putea asigura separarea între benzi. Separarea este realizată la nivel de semnale digitale, prin calcule. Procesarea este realizată cu ajutorul unor filtre FIR (*Finite Impulse Response* – filtru digital cu răspuns finit) de sub bandă (SBF – *Sub-Band Filter*). Rezultatul procesării este obţinerea celor 32 semnale digitale corespunzătoare celor 32 subbenzi.

În timpul procesării, în filtrul de separare are loc o supraeşantionare care ridică numărul biţilor de la 16 biţi/ eşantion la 24 biţi/ eşantion, ceea ce face ca zgomotul de cuantizare a semnalului să fie mai redus.

Reamintim pe scurt că supraeşantionarea este o metodă artificială de reducere a zgomotului de eşantionare. Pentru ca valoarea cuantei de eşantionare să fie cât mai mică ar trebui folosit un număr mai mare de biţi. Acest lucru se obţine în tehnica digitală prin metode care au la bază principii matematice simple (interpolare, extrapolare) cât şi cunoaşterea particularităţilor auzului uman.

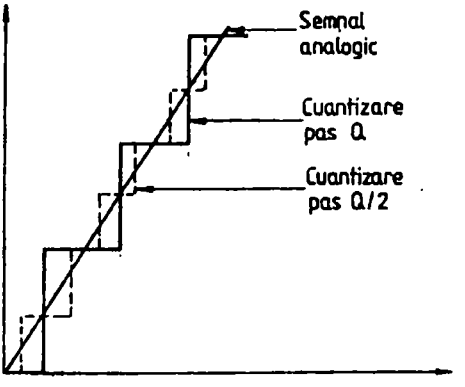


Fig.3.6 Efectul micşorării pasului de cuantizare (supraeşantionare).

În figura 3.6 este redată foarte schematizat situaţia trecerii de la o cuantă Q la cuanta 1/2 Q, care creşte precizia aproximării valorii analogice.

Foarte schematizat, în figura 3.7 este redată procesarea semnalului AF digital în cadrul acestei prime faze a compresiei PASC. În figură sunt marcate cele două operaţiuni de bază: supraeşantionarea (care din punct de vedere al înţelegerii principale a funcţionării nu este importantă, ea având numai rolul practic de a reduce zgomotul de cuantizare) şi separarea semnalului pe cele 32 benzi de frecvenţă.

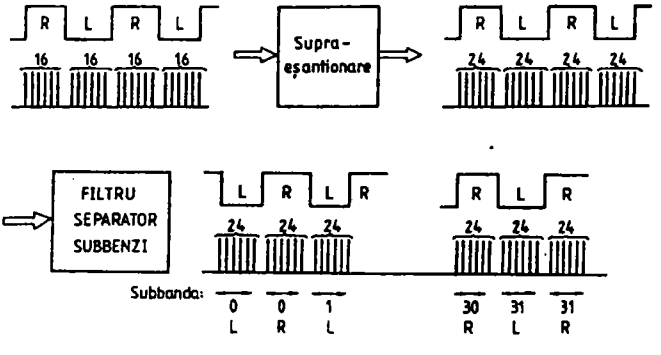


Fig.3.7 Prima fază a prelucrării PASC (supraeşantionare şi separarea benzilor).

Blocul de informaţie audio luat ca bază este secvenţa de 8 ms, care cuprinde câte 12 eşantioane pe fiecare subbandă. Din aceasta rezultă că în total este vorba de 384 eşantioane (32 subbenzi x 12 eşantioane), iar frecvenţa de eşantionare este 48 kHz, de unde se stabileşte durata de 8 ms a blocului (384 : 48 000 = 0,008).

Foarte sugestiv, blocul iniţial de informaţie AF este prezentat în figura 3.8.

Fiecare valoare de eşantion din blocul iniţial este exprimată cu ajutorul a 16 biţi, pe fiecare dintre benzile de frecvenţă ale subgrupelor. Situaţia este redată în figura 3.9.

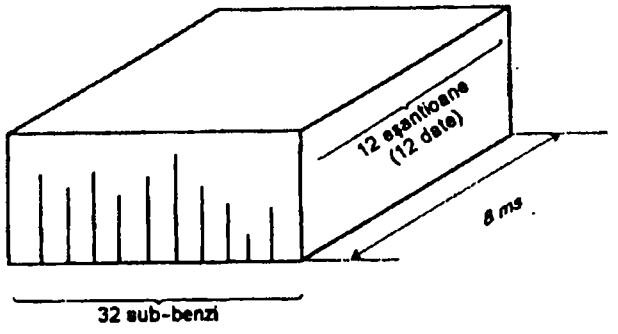


Fig.3.8 Blocul iniţial de informaţie AF.

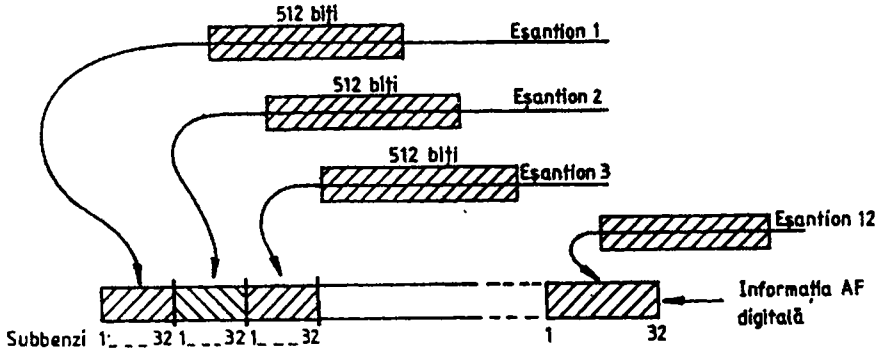


Fig.3.9 Formatul informaţiei AF digitale la finalul primei faze.

Fiecărui eşantion îi corespunde un grup de 512 biţi (32 benzi x 16 biţi/ eşantion = 512 biţi)

Informaţia digitală corespunzătoare blocului este obţinută prin înscrierea informaţiei cu privire la cele 12 eşantioane.

b) Faza II : Selecţia benzilor cu semnal audibil şi stabilirea numărului de biţi pentru înregistrare

Această fază include fazele 2 şi 3 din prezentarea principală (paragraf 3.2.1), unde din motive pur explicative compararea nivelului semnalului cu pragul de audibilitate normal şi cu pragul de mascare au fost prezentate ca fiind faze diferite de prelucrare. În realitate este vorba de o singură comparaţie cu pragul de mascare, al cărui nivel coincide cu pragul normal, în cazul lipsei unor semnale puternice.

În plus, operaţia este realizată de către un circuit integrat specializat care prelucrează unitar semnalele AF digitale, grupate ca în figura 3.9.

Circuitul comparator elimină deci din şirul de informaţii pe cele care corespund eşantioanelor care nu depăşesc pragul de audibilitate. Rămân deci în discuţie numai semnalele audibile. Acestora trebuie să li se atribuie un anumit număr de biţi pentru a fi corect înregistrate pe banda magnetică.

La acordarea numărului de biţi se ţine seama, ca şi la stabilirea pragului de audibilitate atât de caracteristica acustică a urechii umane cât şi de nivelurile semnalelor audio prezente în acelaşi moment.

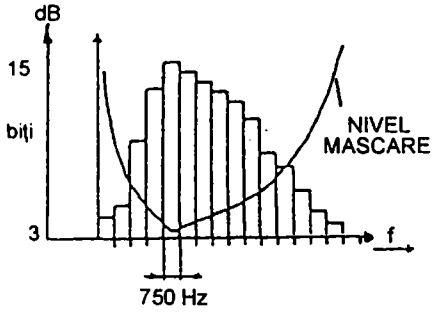


Fig.3.10 Numărul de biţi utilizaţi pentru exprimarea valorii eşantionului în fiecare subbandă.

În cazul de referinţă, în lipsa unor semnale AF puternice, pentru numărul de biţi alocaţi exprimării nivelului semnalului în fiecare subbandă, se ţine seama de caracteristica acustică a urechii, situaţia fiind dată în figura 3.10.

Astfel, numărul cel mai mic este 2 biţi (în gamele de frecvenţă de la limita audibilităţii), iar numărul cel mai mare este de 15 biţi, pentru zona de sensibilitate maximă a urechii.

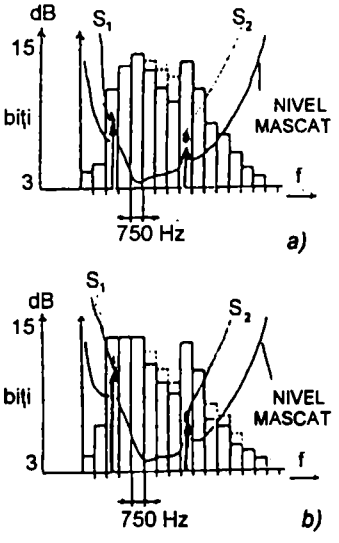


Fig.3.11 Numărul de biţi alocaţi pentru exprimarea valorii eşantionului, în cazul prezenţei unor semnale AF de valori mai ridicate:
a) semnale de valori puţin peste medie;
b) semnale de valori maxime.

În momentul în care este recepţionat un sunet al cărui nivel este puternic, numărul biţilor utilizaţi pentru exprimarea nivelului semnalului din banda respectivă creşte, iar numărul biţilor cu care se pot exprima nivelurile semnalelor din benzile apropiate scade. Situaţia este ilustrată în figura 3.11.

În figura 3.11,*a* este reprezentată situaţia în care sunt recepţionate două semnale, S1 şi S2, de valori mari . Numărul biţilor acordaţi benzilor semnalelor S1 şi S2 a crescut cu 3...4 biţi iar numărul biţilor cu care se exprimă nivelul semnalului în benzile apropiate a scăzut cu câţiva biţi (linia punctată marchează nivelul de referinţă). În figura 3.11,*b* este dată o situaţie mai specială, când semnalul S1 atinge o valoare mare, benzii de frecvenţă i se atribuie numărul maxim de biţi, iar nivelul semnalului în benzile apropiate se exprimă cu un număr redus de biţi .

Din acest joc al numărului de biţi acordaţi pentru exprimarea nivelului semnalului pe fiecare bandă se obţine compresia PASC, compresie a informaţiei digitale care, aşa cum se va vedea în continuare, nu afectează calitatea semnalului AF înregistrat (şi redat). Numărul de biţi alocat exprimării nivelului eşantionului este una dintre informaţiile importante care însoţeşte semnalul AF şi este exprimat cu ajutorul unui cod de 4 biţi (16 valori). Numărul maxim de biţi utilizaţi pentru scrierea valorii este 15, iar corespondenţa număr biţi – cod de alocare este dată în tabelul 3.1.

Tabelul 3.1

Cod (informaţie despre alocare)	Număr de biţi alocaţi pt. exprimare valoare
0000	0
0001	2
0010	3
0011	4
0100	5
0101	6
0110	7
0111	8
1000	9
1001	10
1010	11
1011	12
1100	13
1101	14
1110	15

c) Faza III: Formatul PASC al informaţiei AF digitală

Cea de a treia fază a prelucrării PASC constă în prelucrarea datelor pentru a fi înscrise în formatul PASC. Modul de formare a codului pentru fiecare valoare a unui eşantion, evident, împreună cu numărul de biţi alocaţi, reprezintă cheia codării PASC. În definitiv, compresia PASC are la origine două surse de diminuare a cantităţii de date digitale (fără consecinţe calitative asupra calităţii) :

– eliminarea semnalelor sub pragul de audibilitate momentană (prag natural şi prag extins în prezenţa semnalelor puternice);

– modul de codificare a nivelului semnalului AF digital – prin numărul biţilor alocaţi pentru exprimarea fiecărui eşantion de semnal AF (audibil).

Dacă pentru eliminarea semnalelor sub pragul audibilităţii este suficient un sistem de comparare a semnalului util cu un nivel fix de referinţă, sau cu un nivel de referinţă dinamic dar obtenabil printr-un algoritm relativ simplu, modul de exprimare a nivelului presupune o prelucrare "inteligentă", sofisticată a semnalului, controlată de către un microprocesor.

Aşa cum s-a arătat deja ,exprimarea valorii nivelului de semnal în fiecare bandă de frecvenţe (de 750 Hz), dacă este în zona de audibilitate, se face într-un anumit mod, folosind un anumit număr de biţi, în aşa fel încât informaţia totală a blocului să nu depăşească un anumit număr de biţi (1/4 din volumul maxim al informaţiei iniţiale-necomprimate).

Pentru aceasta, în primul rând, fiecărei benzi de frecvenţă I se atribuie un număr de biţi pentru exprimarea valorii, vezi „Faza II", însă şi în acest caz, modul de exprimare a valorii, are un caracter special.

Pentru fiecare subbandă, pentru blocul de 12 eşantioane, expresia este formată din două părţi, ca în figura 3.12.*a*.

O primă parte numită factor de scară (sau de scală), formată din 6 biţi, exprimă valoarea eşantionului celui mai important (de valoare maximă) într-o scară de eşantionare absolută, cu 64 nivele (6 biţi, $2^6 = 64$ nivele), ca în figura 3.12,*b*.

A doua parte, formată din 2 ...15 biţi (biţi alocaţi pentru banda respectivă) exprimă valoarea eşantionului, având ca referinţă factorul de scară.

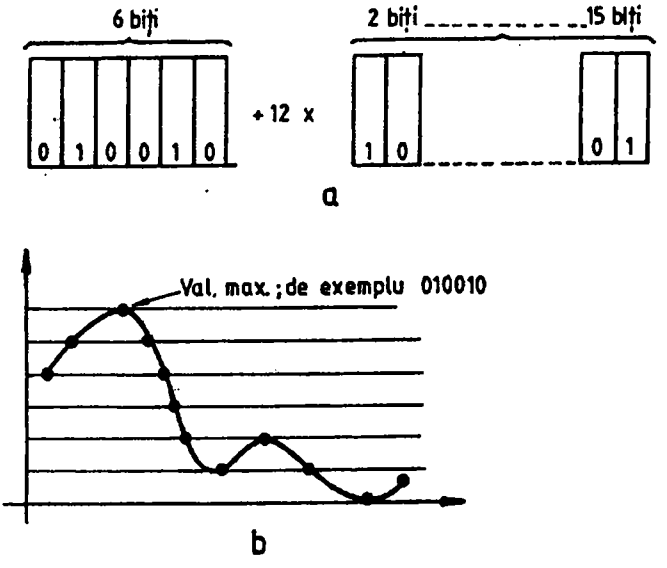


Fig.3.12 Modul de exprimare a valorii celor 12 eşantioane corespunzătoare unei subbenzi a blocului de semnale:
a – exprimarea valorii eşantionului; *b* – stabilirea "factorului de scară".

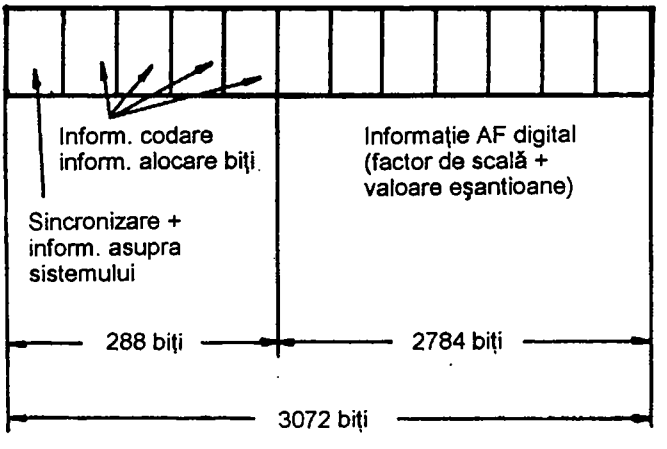


Fig.3.13 Formatul semnalului AF digital, procesat PASC.

Numărul biţilor influenţează numai fineţea aprecierii valorii propriu-zise a eşantionului faţă de valoarea maximă (referinţa).

Calitativ vorbind, acest mod de exprimare este foarte asemănător cu exprimarea logaritmică, factorul de scală jucând rolul caracteristicii, iar biţii alocaţi, rolul mantisei.

Deci, valorile celor 12 eşantioane pentru una dintre benzile de frecvenţă pot fi exprimate cu un număr de biţi cuprinşi între :

minimum: 6 + 12 x 2 = 30 biţi;

maximum: 6 + 12 x 15= 186 biţi.

Pentru a asigura toate informaţiile necesare la redare, acestor date AF de la formarea codurilor PASC li se adaugă informaţii cu privire numărul subbenzii, numărul biţilor de cuantizare etc., aşa fel încât în final un format PASC va avea structura din figura 3.13.

3.3 PROCESARE PASC – RECAPITULARE

Deoarece procesarea PASC reprezintă elementul cu adevărat specific tehnicii DCC, revenim cu o scurtă recapitulare a părţilor sale originale. Ne vom referi numai la procesarea la înregistrare, având în vedere că procesarea la redare nu este altceva decât efectuarea inversă a prelucrărilor de la înregistrare.

Schema bloc a unui montaj care poate asigura procesarea completă PASC este dată în figura 3.14.

La intrare este aplicat semnalul original AF digital cu o frecvenţă a biţilor de 1 536 kbiţi/ s. În continuare, semnalul suferă următoarele prelucrări:

– este separat în 32 benzi de frecvenţă, fiecare cu lăţimea de bandă de 750 Hz;

– din totalitatea datelor AF digitale sunt selectate numai semnalele care depăşesc pragul real de audibilitate, celelalte fiind eliminate;

– fiecărui eşantion rămas i se atribuie un anumit număr de biţi pentru a i se exprima valoarea;

– valoarea fiecărui eşantion se exprimă cu ajutorul a două cuvinte, unul de lungime fixă exprimat cu 6 biţi, constituind „factorul de scală", şi altul exprimat cu ajutorul numărului de biţi alocaţi – număr variabil cuprins între 2 şi 15;

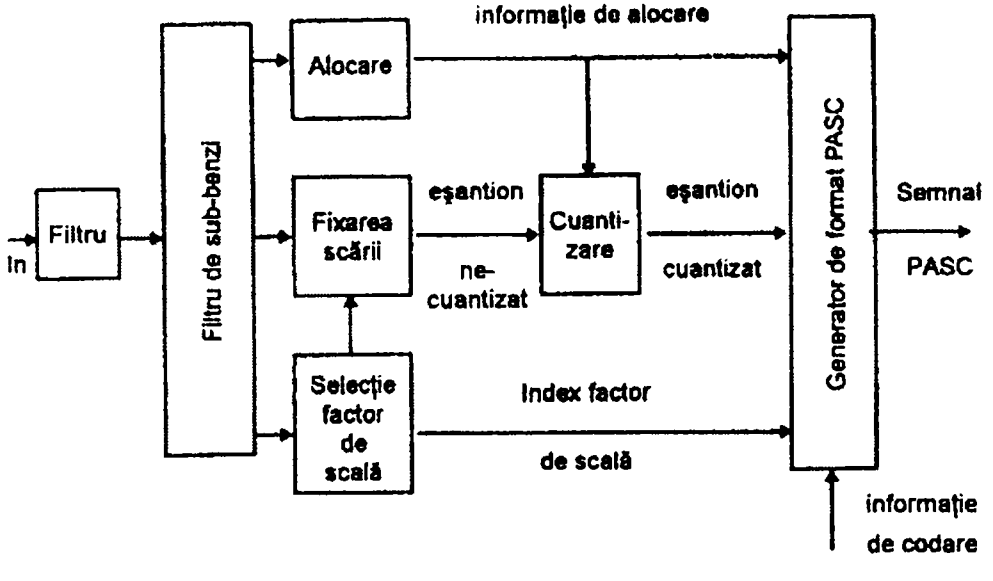


Fig.3.14 Schema bloc, de principiu, a codorului PASC.

– formatul final al semnalului AF comprimat PASC se obţine adăugând informaţiei AF o serie de informaţii (tot sub formă digitală) cu privire la datele codării, numărul subbenzii, numărul de biţi alocaţi exprimării valorii eşantionului etc.

Reamintim că unitatea de bază a informaţiei în cadrul prelucrării digitale a datelor este blocul de 12 eşantioane, care corespunde secvenţei de semnal AF cu durata de 8 ms. Acest bloc este cea mai mică secvenţă de semnal digital care cuprinde toate informaţiile necesare la redare.

Informaţia digitală a blocului conţine 3 072 biţi şi durează 8 ms, deci este caracterizată de o rată (frecvenţă) a biţilor de 384 kbiţi/ s.

Comparând cu frecvenţa biţilor semnalului AF digital iniţial, de 1 536 kbiţi/ s, rezultă factorul de compresie de 1/4 al prelucrării PASC.

4

PROCESAREA SEMNALELOR LA ÎNREGISTRARE

Schema bloc cea mai generală a circuitelor de procesare a semnalelor într-un casetofon digital este dată în figura 4.1. Se remarcă faptul că procesarea la redare este corespondentul „în oglindă" al procesării la înregistrare, ea reluând în sens invers toate fazele complementare de prelucrare a datelor (de la înregistrare).

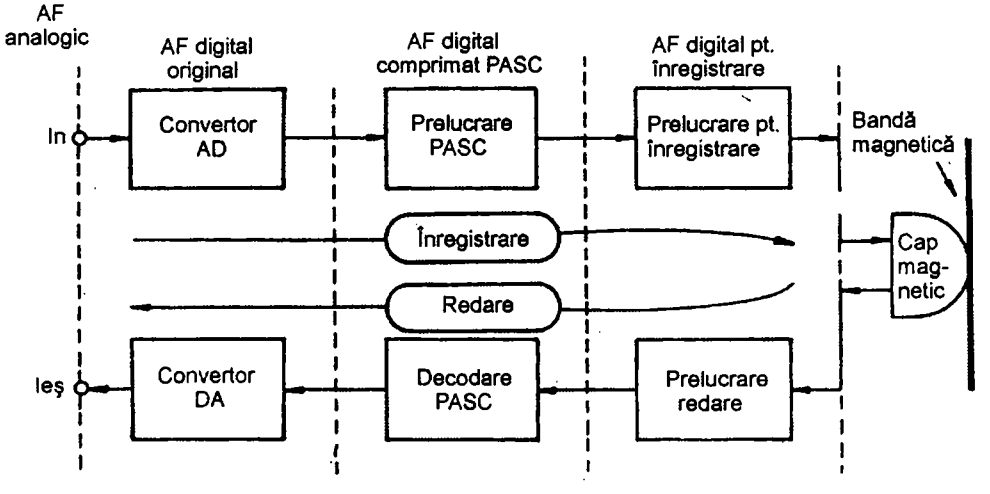


Fig.4.1 Schema bloc generală a lanţului de procesare a semnalului AF în casetofonul digital.

Asupra procesării la redare vom reveni în capitolul următor, în acest capitol urmând să ne ocupăm numai de prelucrarea semnalelor la înregistrare.

Aşa cum reiese din schema bloc, prelucrarea semnalelor la înregistrare (ca şi la redare) are loc în trei mari etape (trei tipuri de circuite specializate):

– conversia analogic-digitală;
– procesare PASC (compresie);
– prelucrarea semnalelor pentru înregistrarea pe bandă magnetică.

În general, principiile prelucrărilor digitale din casetofonul DCC ar trebui să fie cunoscute, inclusiv compresia PASC, prezentată la capitolul 3. Având în vedere însă noutatea „digitalizării" în viaţa electroniştilor de la noi, vom reveni cu amănunte asupra procesării respective, marcându-i atât partea referitoare la principiile de funcţionare, cât şi elementele de specificitate ale aplicaţiei DCC.

4.1 SEMNALE DE INTRARE ŞI SEMNALE DE IEŞIRE

Pentru a înţelege mai bine scopul cât şi etapele procesării semnalelor AF (digitale) dintr-un casetofon DCC, considerăm că este necesară în primul rând cunoaşterea formatului iniţial (de unde se pleacă) şi a formatului final (unde se ajunge) ale semnalelor tranzitate.

4.1.1 SEMNALELE DE LA INTRAREA CASETOFONULUI

La intrarea de AF a casetofonului digital pot fi aplicate două tipuri de semnale AF:

– semnal AF analogic de frecvenţă cuprinsă între 20 Hz şi 20 000 Hz (teoretic 24 000 Hz);

– semnal AF digital cu o rată a biţilor de 1 536 kbiţi/ s.

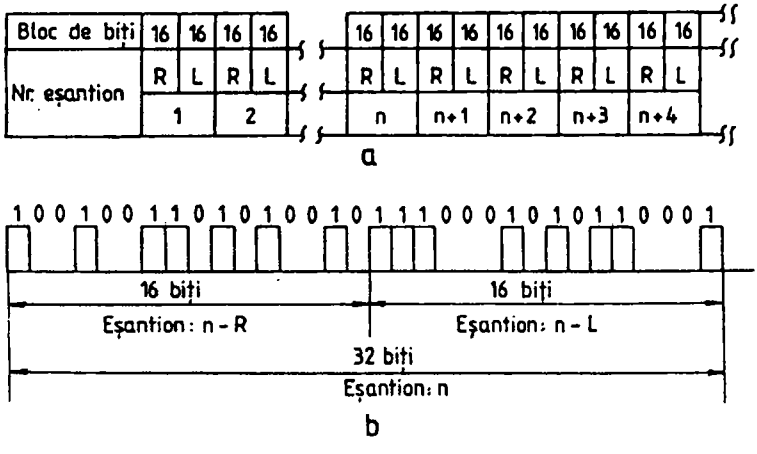

Bloc de biţi
16 16 16 16
16 16 16 16 16 16 16 16 16 16
Nr. eşantion
R L R L
R L R L R L R L R L
1 2
n n+1 n+2 n+3 n+4
a
1 0 0 1 0 0 1 1 0 1 0 1 0 0 1 0 1 1 1 0 0 0 1 0 1 0 1 1 0 0 0 1
16 biţi
16 biţi
Eşantion: n - R
Eşantion: n - L
32 biţi
Eşantion: n
b

Fig.4.2 Structura semnalului iniţial de AF stereo – eşantionat cu o frecvenţă de 48 kHz:
a – succesiunea eşantioanelor; *b* – exemplu de eşantion (16 biţi – R, 16 biţi – L).

Chiar dacă sursa primară de semnal AF asigură un semnal analogic, acesta este convertit chiar la intrare în semnal digital primar, în cele ce urmează interesându-ne forma sa digitală.

Acest semnal este constituit dintr-o succesiune de impulsuri grupate în cuvinte de câte 16 biţi, fiecare cuvânt exprimând valoarea digitală a eşantionului pe care îl reprezintă.

Având în vedere că este vorba de o înregistrare stereo, cu două canale de AF – dreapta – R (*right* – dreapta, în limba engleză) şi stânga – L (*left* – stânga, în limba engleză) – situaţia este echivalentă din punct de vedere digital cu o eşantionare cu 32 biţi/ eşantion (cele două eşantioane R şi L fiind simultane). Având în considerare faptul că frecvenţa de eşantionare curentă în cazul DCC este

48 kHz, rezultă că semnalul AF digital se caracterizează printr-o frecvenţă a biţilor de 1 536 kbiţi/ s şi este structurat ca în figura 4.2.*a*.

În figura 4.2,*b* este dat un exemplu de eşantion format din două cuvinte de câte 16 biţi, unul pentru AF dreapta, altul pentru AF stânga.

4.1.2 SEMNALE UTILIZATE LA ÎNREGISTRARE

Formatul semnalelor folosite la înregistrare trebuie să îndeplinească o serie de condiţii, din nefericire cu efecte opuse asupra ratei biţilor semnalului AF digital. Astfel :

– trebuie să aibă o frecvenţă a biţilor cât mai redusă, pentru a putea fi înregistrat pe bandă magnetică, ceea ce presupune o limitare a frecvenţelor înalte;

– trebuie să conţină cât mai mulţi biţi, din mai multe motive:

- pentru a asigura fidelitatea faţă de informaţia primară de AF;
- pentru a permite adăugarea unei întregi serii de semnale auxiliare cu informaţii suplimentare (sincronizare, compresie, numerotare subbenzi etc);
- pentru adăugarea cuvintelor de control care asigură corectarea erorilor;
- pentru a putea accepta numărul suplimentar de biţi introduşi prin codarea ETM.

În vederea asigurării compromisului optim în ceea ce priveşte mărimea ratei biţilor, în tehnica DCC s-a ajuns la un standard caracterizat printr-o serie de parametri tehnici, dintre care cei mai importanţi, care asigură compatibilitatea şi calitatea înregistrării şi redării, sunt prezentaţi în continuare:

a) Pentru înregistrare se foloseşte un semnal digital NRZI (*Non Return to Zero Inverted* – impulsuri inversate, fără revenire la zero).

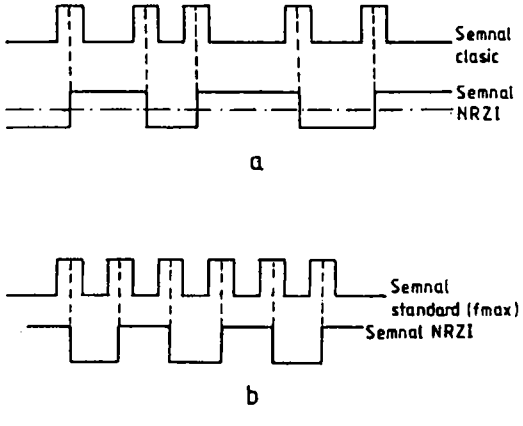


Fig.4.3 Corespondenţa între semnalul digital clasic şi semnalul NRZI:
a – semnal oarecare; *b* – semnal de frecvenţă maximă.

Reamintim că acest procedeu, folosit frecvent în tehnica înregistrărilor semnalelor digitale (CD audio, CD video, magnetofon digital etc.), se carac-

terizează prin faptul că valoarea „unu" a semnalului este reprezentată de frontul impulsului, iar valoarea „zero" este reprezentată de valoarea de palier a impulsului (indiferent care este ea). În figura 4.3,*a* este reprezentată corespondența dintre un semnal digital clasic şi un semnal NRZI.

Impulsurile de valoare „unu" sunt marcate de câte un salt al valorii semnalului, indiferent de sensul său. Impulsurile de valoare zero (secvențele de valori zero) sunt redate de valoarea constantă a semnalului.

Plecând şi de la faptul că, statistic vorbind, valorile „unu" ale semnalului sunt mult mai rare decât valorile „zero", s-au impus semnalului final NRZI două condiții de format care duc la „uşurarea" condițiilor tehnice ale înregistrării:

– În nici o secvență nu trebuie să apară două valori „unu" alăturate – ceea ce are drept consecință reducerea frecvenței maxime de bit, situație redată în figura 4.3,*b*.

– Trebuie să existe un echilibru între durata impulsurilor „pozitive" NRZI şi cea a impulsurilor „negative" NRZI, aşa fel ca valoarea medie a semnalului să fie plasată undeva la 1/2 din amplitudine, condiție necesară pentru a se asigura precizia „citirii" semnalului la redare. Acest lucru se asigură prin condiția ca lungimea maximă a secvenței de biți „zero" să nu depăşească zece impulsuri.

În situația în care semnalul AF rezultat din prelucrările anterioare poate avea orice structură de biți, aceste două condiții restrictive de mai sus sunt asigurate printr-o procesare ulterioară a semnalului , numită codare ETM (*Eight to Ten Modulation* – modulație opt la zece) care constă în înlocuirea cuvintelor de 8 biți cu cuvinte de 10 biți.

Noile cuvinte de 10 biți sunt generate în aşa fel încât să îndeplinească cele două condiții impuse semnalului NRZI.

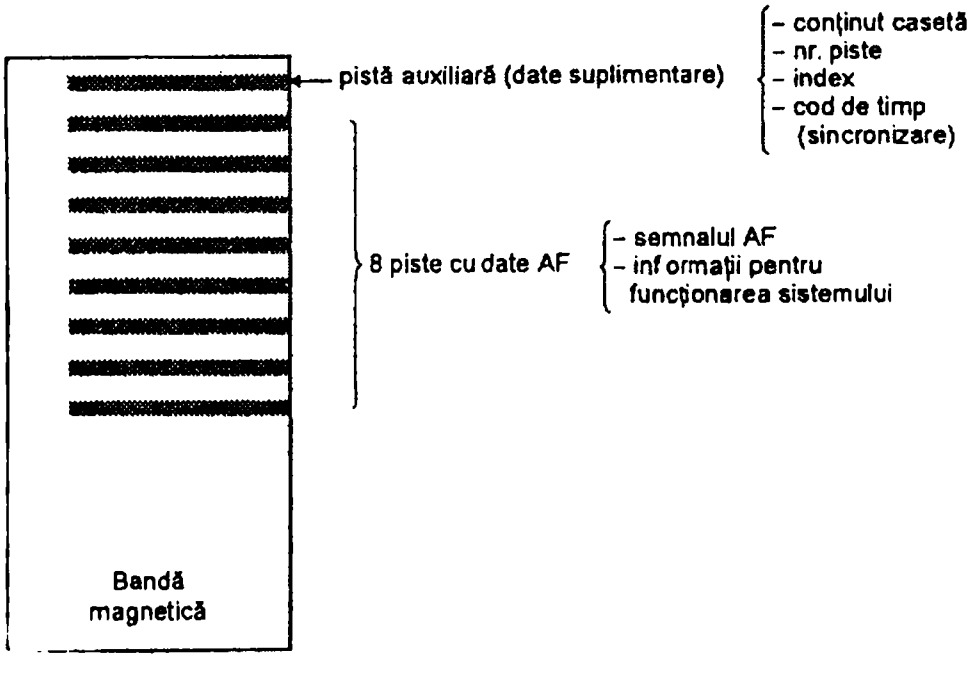


Fig.4.4 Structura înregistrării magnetice pe DCC.

b) Înregistrarea semnalului AF digital se face pe 8 piste paralele. Situaţia este reprezentată în figura 4.4.

Informaţia AF şi informaţiile suplimentare strict legate de informaţia AF sunt înregistrate pe 8 piste, iar informaţiile auxiliare legate de partea de prelucrare a înregistrării magnetice (tact, număr pistă, lista conţinutului înregistrării etc.) sunt realizate pe o pistă suplimentară (a 9 -a), poziţionată spre marginea benzii magnetice.

Înregistrările pe cele 8 piste se realizează simultan, efectul principal al fenomenului fiind reducerea ratei biţilor la 1/8 din rata biţilor semnalului AF final.

Procedeul este echivalent, însă evident mult mai comod şi mai economic decât creşterea vitezei de rulare a benzii audio de 8 ori (ceea ce ar fi dus la scurtarea duratei de înregistrare – redare a unei casete în acelaşi raport cât şi la o complicare suplimentară, deloc de neglijat a mecanismului de antrenare a benzii).

c) Se realizează un format final standard de semnal AF, valabil numai pentru secvenţa de înregistrare-redare, în care toate informaţiile AF sunt tratate unitar, ca o succesiune de cuvinte de câte 8 biţi, aduşi prin codarea ETM (opt la zece) la lungimea de 10 biţi. Structura formatului este dată în figura 4.5.

Un cadru de înregistrare este format din 4 blocuri. Deoarece datele auxiliare au o frecvenţă a biţilor de 1/8 din cea a pistelor cu informaţie, cadrul de date auxiliare are aceeaşi durată cu cea a cadrului de date de pe oricare dintre cele 8 piste.

În figura 4.5,*a* este dat formatul semnalului de date (AF), acelaşi pentru toate cele 8 piste. Baza de prelucrare este cadrul de înregistrare (*frame*), care conţine 32 blocuri de semnal, care la rândul său conţine 51 de cuvinte a câte 10 biţi. În total, numărul de biţi al unui cadru de înregistrare este de: 10 x 51 x 32=16 320 biţi. La acesta se mai adaugă cei circa 64 biţi IFG (*Inter-Frame Gap* – zona de separare dintre două formate cadru de înregistrare). Această secvenţă care teoretic are 64 biţi în realitate poate avea o lungime variabilă, ea preluând diferite erori de prelucrare a datelor, datorate de exemplu impreciziei tactului, micilor abateri mecanice etc. care la redare ar putea duce la distorsiuni.

În final, rezultă deci că un cadru de înregistrare conţine 16 384 biţi.

În figura 4.5,*a* este redată în continuare structura fiecărui bloc de semnal AF, format la rândul său din 51 de cuvinte (a câte 10 biţi). Primele 3 cuvinte notate cu H (de la *header* – titlu, cap de rând), conţin impulsurile de sincronizare şi cuvintele de adresă ale cadrului de înregistrare (2 x 3 biţi) şi ale blocului (2x5 biţi).

Impulsurile de sincronizare (*Sync Pattern*) marchează începutul fiecărui bloc de semnale, aducând sistemul de înregistrare/ redare la starea iniţială. Cele două perechi de semnale de adresă (de cadru şi de bloc) sunt necesare în cadrul procesării de la redare, pentru a trimite datele blocului următor la locaţia RAM corectă, în vederea refacerii semnalului digital PASC.

Următoarele 48 de cuvinte (a câte 10 biţi), notate cu D (de la *data* – date AF) conţin informaţiile AF, format PASC şi modulate ETM.

Formatul semnalului auxiliar, înregistrat pe pista suplimentară, este redat în figura 4.5,*b*. El este format tot din cadre de înregistrare, însă structura cadrului în acest caz diferă esenţial de structura cadrului de date. Fiecare cadru de înregistrare de informaţii auxiliare este format din 4 blocuri a câte 51 cuvinte (a câte 10 biţi). Fiecare bloc, aşa cum reiese şi din figură, este format la rândul său, din 51 cuvinte a câte 10 biţi.

Primele 3 cuvinte, notate tot cu H au următorul conţinut :

– primul şi al treilea cuvânt (20 de biţi), notate cu PLL, conţin câte o secvenţă de biţi care asigură sincronizarea (calarea pe fază) a buclei care asigură

tactul la redare. Lipsa acestui semnal, indică lipsa semnalului AF pe banda magnetică;

– al doilea cuvânt, notat SYNC, conţine un semnal care indică începutul blocului.

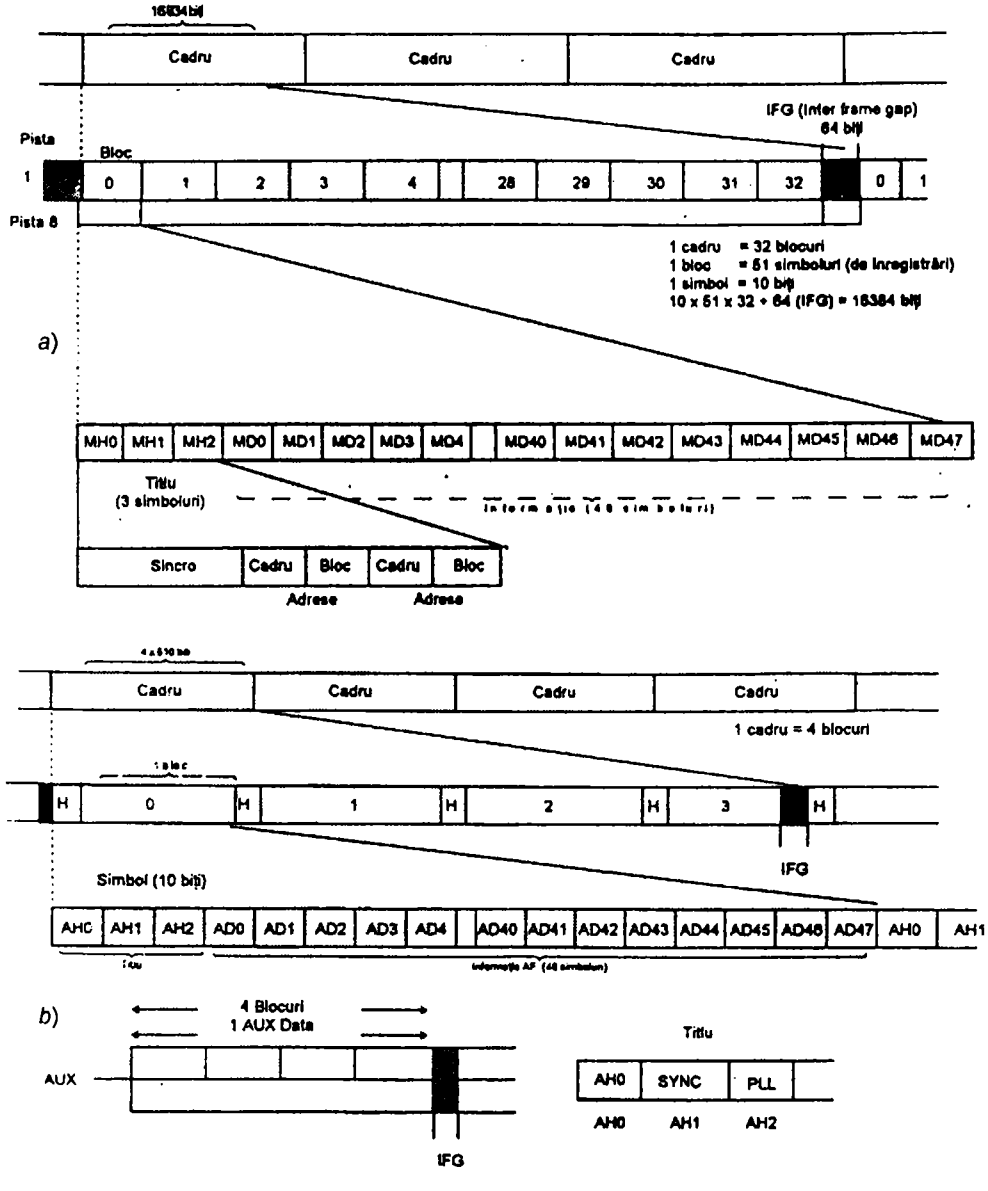


Fig.4.5 Formatul semnalului la înregistrare:
a – informaţie AF (oricare dintre cele 8 piste cu date AF);
b – informaţie auxiliară (pista a 9 -a).

Restul de 48 cuvinte a câte 10 biţi, notate AD 0 ... AD 47, sunt ordonate începând cu cel mai semnificativ bit (MSB) – primul – şi terminând cu cel mai puţin semnificativ bit (LSB) – ultimul. Informaţiile conţinute de aceste cuvinte sunt:

– AD 0 – prima jumătate: biţi de valoare zero; a doua jumătate: biţi de control al informaţiei;

– AD 1 – biţi de marcare a informaţiei;

– AD 2 – numărul pistei;

– AD 3 – număr de index (de înregistrare);

– AD 4 – numărul absolut al cadrului de înregistrare şi timpul absolut (ora);

– AD 5 – timpul absolut (minute): zeci şi unităţi;

– AD 6 – timpul absolut (secunde): zeci şi unităţi ;

– AD 7 – numărul cadrului din înregistrare şi timpul relativ al înregistrării (ora);

– AD 8 – timpul relativ (minute): zeci şi unităţi;

– AD 9 – timpul relativ (secunde): zeci şi unităţi;

– AD10 ... AD19 – TOC (*Table of Contents* – tablă de materii): lista digitală a conţinutului (număr de melodii etc.);

– AD20 ... – alte specificaţii/ informaţii specifice: dacă este cazul.

În această zonă este loc şi pentru alte informaţii pentru posibilele aplicaţii ulterioare ale DCC.

Trebuie menţionat aici faptul că deşi durata cadrului de date auxiliare este aceeaşi cu cea a cadrului de date AF (8 ms), numărul blocurilor este de 8 ori mai mic (4 în loc de 32). Rezultă deci că rata biţilor diferă la cele două tipuri de semnale, raportul între cele două rate fiind de 8/1.

Ştiind de unde se pleacă şi unde trebuie să se ajungă în materie de semnale, se poate trece la descrierea procesării semnalelor şi a motivaţiei ei tehnice.

4.2 CONVERSIA ANALOGIC – DIGITALĂ

Această procesare este necesară numai în cazul în care la intrarea casetofonului se aplică un semnal AF de tip analogic. Asupra principiilor acestei conversii nu vom reveni, ele fiind prezentate pe larg în capitolul 2.

Esenţial este faptul că, în cazul DCC, semnalul digital iniţial se prezintă sub forma unei succesiuni de impulsuri (echivalentul tehnic al biţilor), ordonate ca în figura 4.2, şi este caracterizat de următorii parametrii:

– semnalul este obţinut prin eşantionarea semnalului analogic cu o frecvenţă de 48 kHz;

– valoarea fiecărui eşantion este exprimată digital cu ajutorul a 32 biţi (32 impulsuri) şi este formată din două părţi: semnal AF dreapta (R) şi semnal AF stânga (L), ambele a câte 16 biţi/eşantion;

– frecvenţa (rata) biţilor este de 1 536 kbiţi/s;

– semnalul nu conţine nici o informaţie suplimentară.

4.3 PRELUCRAREA PASC

Prelucrarea PASC reprezintă partea de procesare specifică tehnicii DCC. Principiile sale au fost prezentate în capitolul 3.

Procesarea PASC constă într-o compresie a informației AF în raport 4/1. Circuitele care asigură procesarea PASC sunt structurate ca în figura 3.14. şi ele asigură o succesiune de operații dintre care cele mai importante sunt:

– supraeşantionarea, prin care cuvintele de 16 biți sunt transformate în cuvinte de 24 biți; prelucrarea asigură un zgomot mai redus la redare;

– gruparea semnalului în blocuri de câte 12 eşantioane, a căror durată este de 8 ms;

– separarea fiecărui eşantion de semnal în 32 de subbenzi de frecvență (cu 750 Hz lărgime de bandă);

– compararea valorii eşantionului din fiecare subbandă cu pragul de audibilitate (cel real, care ține seama de fenomenul de „mascare" a sunetelor de intensitate mică în prezența sunetelor de intensitate mare);

– eliminarea eşantioanelor a căror valoare se află sub pragul de audibilitate (pe fiecare subbandă în parte) şi alocarea numărului de biți cu care se exprimă valoarea eşantionului păstrat pentru a fi înregistrat;

– exprimarea pentru fiecare subbandă de frecvențe a valorilor celor 12 eşantioane cu ajutorul a două „cuvinte" digitale:

- un cuvânt de 6 biți, valabil pentru cele 12 eşantioane, numit „factor de scală", care nu este altceva decât valoarea eşantionului de amplitudinea cea mai mare din grup, apreciat într-un sistem absolut de referință cu $2^6 = 64$ nivele de cuantizare;
- un cuvânt de lungime variabilă (numărul de biți alocați pentru exprimarea mărimii eşantionului) care poate avea un număr de 2 la 15 biți. Acesta exprimă mărimea eşantionului într-un sistem în care „factorul de scală" este referința (mărimea maximă);

– adăugarea unor informații suplimentare cu privire la sincronizare etc.;

– gruparea tuturor acestor informații într-un format, după anumite criterii, ajungându-se astfel la semnalul format PASC.

Toate aceste prelucrări ale semnalului sunt efectuate în circuite electronice sofisticate, realizate sub formă de circuite integrate, deci practic inaccesibile (interior) unui electronist amator sau chiar profesionist .

În final, la ieşirea circuitelor de procesare PASC este asigurat semnalul PASC standard a cărui structură este dată în figura 4.6.

Aşa cum s-a menționat, prelucrarea AF este realizată pe blocuri (grupări) de informație. Gruparea cea mai mică de semnal, independentă(de sine stătătoare) care conține toate informațiile necesare este cadrul (*frame* – în limba engleză). Ea corespunde unei secvențe AF reale (analogică) de 8 ms (eşantionată cu 48 kHz) .

La rândul său, cadrul este divizat în 96 de blocuri sau secvențe (*slot* – în limba engleză), care la rândul lor conțin fiecare câte 32 biți. Situația este redată în figura 4.6,*a*.

Secvențele (sloturile) care formează un cadru conțin informații diferențiate. Astfel pot fi evidențiate 4 tipuri de secvențe:

a – secvența (slotul) 1, de 32 biți, conține informații cu privire la sincronizare şi frecvența biților: 16 biți de sincronizare, 4 biți de indicare a ratei biților, 2 biți de codificare a informației cu privire la frecvența de eşantionare şi 10 biți pentru alte informații (neutilizați deocamdată).

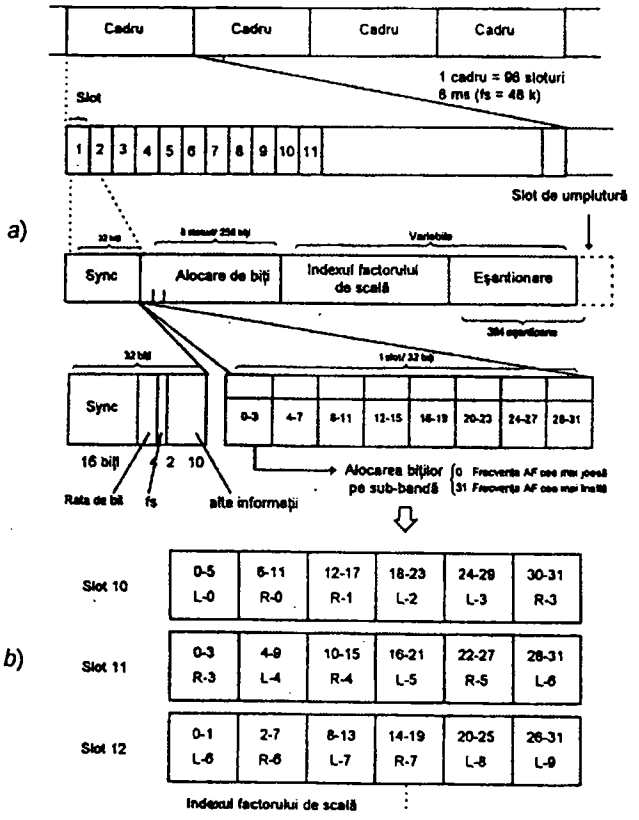


Fig.4.6 Structura semnalului standard procesat PASC (la înregistrare) : *a* – ordonarea pe cadre/sloturi/biți; *b* – ordonarea sloturilor (blocurilor) care conțin informație cu privire la biții alocați pentru exprimarea valorii eșantioanelor; *c* – modul de exprimare a factorului de scală pentru fiecare subbandă.

c)

Slot 2							
0...3 L-0	4...7 R-0	8...11 L-1	12...15 R-1	16...19 L-2	20...23 R-2	24...27 L-3	28...31 R-3

Slot 3							
0...3 L-4	4...7 R-4	8...11 L-5	12...15 R-5	16...19 L-6	20...23 R-6	24...27 L-7	28...31 R-7

Slot 4							
0...3 L-8	4...7 R-8	8...11 L-9	12...15 R-9	16...19 L-10	20...23 R-10	24...27 L-11	28...31 R-11

Slot 5							
0...3 L-12	4...7 R-12	8...11 L-13	12...15 R-13	16...19 L-14	20...23 R-14	24...27 L-15	28...31 R-15

Slot 6							
0...3 L-16	4...7 R-16	8...11 L-17	12...15 R-17	16...19 L-18	20...23 R-18	24...27 L-19	28...31 R-19

Slot 7							
0...3 L-20	4...7 R-20	8...11 L-21	12...15 R-21	16...19 L-22	20...23 R-22	24...27 L-23	28...31 R-23

Slot 8							
0...3 L-24	4...7 R-24	8...11 L-25	12...15 R-25	16...19 L-26	20...23 R-26	24...27 L-27	28...31 R-27

Slot 9							
0...3 L-28	4...7 R-28	8...11 L-29	12...15 R-29	16...19 L-30	20...23 R-30	24...27 L-31	28...31 R-31

b – secvenţele 2 ... 9 (256 biţi). În aceste secvenţe, pe grupuri de câte 4 biţi sunt indicaţi biţii alocaţi pentru exprimarea valorii eşantioanelor (câte 4 biţi/ subbandă şi cale AF).

Structura detaliată a acestor secvenţe este dată în figura 4.6,*b*.

c – secvenţele cu informaţii AF. Acestea pot fi o parte dintre secvenţele (sloturile) 10 ... 32, sau chiar toate în cazul cantităţii maxime de informaţie.

Informaţia, aşa cum s-a menţionat deja, este exprimată cu ajutorul a două coduri. Un cod de 6 biţi care indică „factorul de scală", valoarea maximă a eşantioanelor din cadru într-o anumită bandă (figura 4.6,*c*) şi gruparea de biţi care dă cu ajutorul numărului de biţi alocaţi (figura 4.6,*b*) valoarea relativă a eşantionului faţă de factorul de scală.

În cazul în care informaţia reală nu ocupă tot spaţiul alocat (situaţie frecventă în practică) spaţiul rămas neocupat este acoperit cu secvenţe de umplutură (*dummy slot*, în limba engleză);

d – secvenţe de umplutură despre care a fost vorba mai sus, şi care nu conţin informaţie.

Acest format PASC reprezintă forma comprimată a semnalului de AF.

Numărul biţilor dintr-un cadru PASC este:

96 secvenţe x 32 biţi = 3072 biţi, durata unui cadru fiind 8 ms, rezultă o rată a biţilor de :

$$3\,072 \times \frac{10^3}{8} = 384 \text{ kbiţi/s.}$$

Comparând cu rata biţilor a semnalului iniţial de 1 536, rezultă factorul de compresie impus, de 4/1 la prelucrarea PASC.

4.4 PROCESAREA SEMNALELOR PENTRU ÎNREGISTRAREA PE BANDĂ MAGNETICĂ

Pentru a ajunge la formatul necesar la înregistrare (figura 4.5) semnalul AF digital comprimat PASC (figura 4.6) trebuie să mai suporte o serie de prelucrări.

Cele mai importante dintre acestea sunt următoarele:

– codarea pentru asigurarea protecţiei semnalului redat împotriva erorilor;

– modularea ETM (*Eight to Ten Modulation* – modulaţie opt la zece);

– separarea semnalului AF pe 8 căi şi punerea sa în forma necesară la înregistrare.

Schema bloc generală a prelucrărilor pentru înregistrare este dată în figura 4.7.

Primele două procesări presupun o multiplicare a numărului biţilor, prin introducerea unor informaţii suplimentare, iar ultima procesare implică reducerea ratei biţilor pe fiecare cale în raportul 1/8 .

4.4.1 CODAREA PENTRU ASIGURAREA PROTECȚIEI SEMNALULUI ÎNREGISTRAT ÎMPOTRIVA ERORILOR

La redarea benzilor magnetice este foarte posibil să apară mici „accidente" fie datorită benzii magnetice (*dropout*), fie datorită sistemului de citire, acestea ducând la întreruperea sunetului pentru o scurtă perioadă de timp. Efectul întreruperii este perceput la auditie ca o perturbație audio foarte supărătoare.

Pentru eliminarea acestor neajunsuri şi asigurarea unei calităţi ridicate a redării sunetului, în tehnica DCC se foloseşte acelaşi sistem sofisticat de codare ca şi la CD. Metoda este complexă, fiind utilizată numai în condiţiile folosirii unor circuite cu grad foarte mare de integrare (LSI – *Large Scale Integration*).

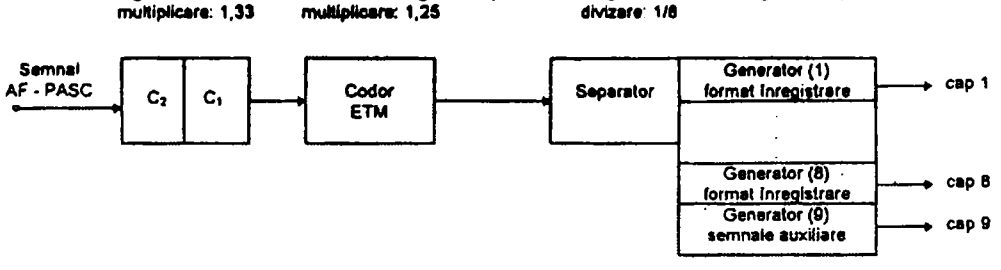


Fig.4.7 Schema bloc a circuitelor pentru procesarea semnalelor la înregistrare.

În literatura tehnică de specialitate, această codare este cunoscută sub numele prescurtat de CRCC (*Cyclic Redundancy Check Code* – aproximativ: cod ciclic cu verificare redundantă).

Varianta practică de codare CRCC folosită în tehnica DCC este cunoscută sub numele de CIRC (*Cross Interleaved Reed Solomon Code* – cod Solomon cu intercalare încrucişată). Subliniem faptul că această soluţie tehnică este aceeaşi cu cea folosită în cazul CD .

Codarea, respectiv decodarea CIRC sunt practic inaccesibile utilizatorului, depanatorului, proiectantului şi chiar fabricantului de casetofoane digitale, operaţiunile fiind executate de nişte circuite integrate complexe, al căror „secret intim" este în general bine păstrat de către fabricant. Utilizatorul percepe codorul (respectiv decodorul) ca pe o „cutie neagră" care asigură la terminalele sale o serie de funcţii.

Schema bloc a circuitelor de codare CIRC utilizată în tehnica DCC este dată în figura 4.8.

Datorită complexităţii procesării cât şi a inaccesibilităţii la structura intimă a circuitelor, ne vom mulţumi să marcăm numai principalele sale caracteristici:

– Codarea CIRC se realizează în două etape, cu ajutorul a două codoare, cu grad diferit de protecţie la erori. Ele sunt notate cu C_2 (primul în ordinea procesării la codare) şi C_1.

– La intrarea codorului CIRC se aplică semnalul standard PASC.

– Şirul de biţi care constituie semnalul PASC este grupat în cuvinte de câte 8 biţi, aceasta fiind unitatea (cuvântul de 8 biţi) de informaţie utilizată în continuare în procesul de codare/ decodare CIRC. Pentru procesarea ulterioară se folosesc grupări de câte 24 cuvinte a 8 biţi (indiferent de sensul şi conţinutul informaţiei primare). Această grupare (bloc de semnale de 24 cuvinte x 8 biţi) este stocat în memoria RAM a codorului CIRC.

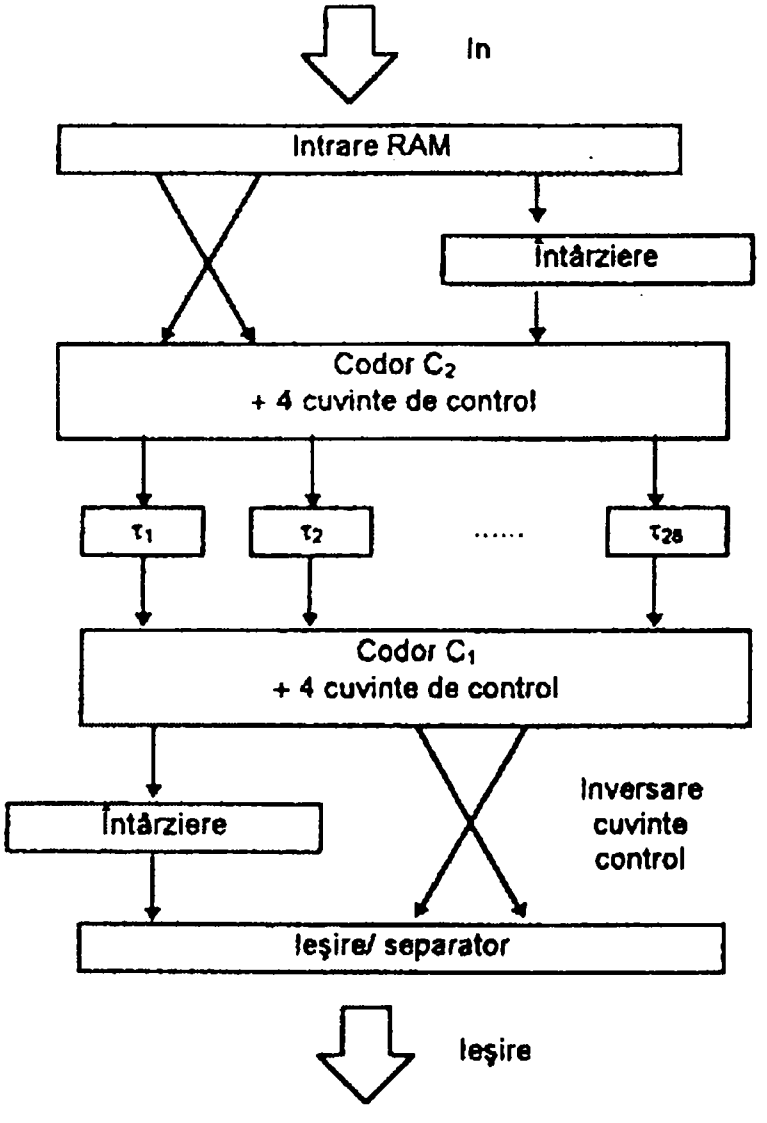


Fig.4.8 Schema bloc a procesorului CIRC utilizat în tehnica DCC.

– Prima procesare specifică a codorului este „amestecarea" cuvintelor (*Scrambling* – în limba engleză). Operaţiunea constă în întârzierea cuvintelor pare cu 16 biţi şi schimbarea (amestecarea) conectărilor la intrarea codorului C_2.

– Codorul C_2 generează 4 cuvinte de control de câte 8 biţi pe care le inserează între cele 24 cuvinte iniţiale, la ieşirea sa apărând astfel 28 de cuvinte a câte 8 biţi.

– Între codorul C_2 şi codorul C_1 sunt conectate o serie de linii de întârziere de durate diferite, dar bine determinate, generând astfel o întârziere a datelor, ceea ce face ca semnalele de la ieşirea codorului C_1 să aibă o structură aleatoare (*random pattern*).

– Urmează codarea asigurată de codorul C_1. Acesta generează 4 noi cuvinte de câte 8 biţi, aducând numărul de cuvinte al grupării la 32 (fiecare a câte 8 biţi).

– După codarea C_1 este inserată o nouă întârziere de 8 biţi între cuvintele pare, iar cuvintele de control introduse de cele două codoare sunt inversate. Rezultă astfel la ieşire un grup de 32 cuvinte a 8 biţi, care aparent n-au nici o legătură cu cuvintele de la intrare.

Prin introducerea celor 8 cuvinte suplimentare de control rata biţilor semnalului creşte în raportul 4/3 (cu 1,33), însă în acelaşi timp creşte semnificativ protecţia la redare a semnalului în ceeace priveşte erorile de citire .

4.4.2 CODAREA ETM

Codarea, sau modularea digitală ETM (opt la zece) este necesară în vederea obţinerii unui semnal final la înregistrare cu o anumită densitate a impulsurilor „unu" faţă de impulsurile „zero" (lipsa de semnal) din considerentele arătate la paragraful 4.1.2.

Reamintim că pentru a se asigura cele două condiţii necesare semnalului NRZI de la înregistrare, şi anume: să nu existe un şir mai mare de 10 valori succesive „zero" şi să nu existe două valori de „unu" alăturate, semnalele digitale trebuie să suporte o codare ETM care constă în înlocuirea cuvintelor de 8 biţi cu cuvinte de 10 biţi .

Procesarea este foarte asemănătoare cu cea utilizată în tehnica CD, codarea EFM (*Eight to Fourteen Modulation* – modulaţie 8 la 14), cu deosebirea evidentă că lungimea cuvintelor la ieşire este mai mică (10 biţi , în loc de 14 biţi). În cazul ETM rata biţilor creşte în proporţia 10/8 = 1,25 (faţă de 14/8 = 1,75 în cazul EFM).

Codarea ETM constă într-o aparent simplă înlocuire de 8 biţi cu cuvinte de 10 biţi, care îndeplinesc cele două condiţii care asigură densitatea impusă a semnalelor „unu" faţă de semnalele „zero".

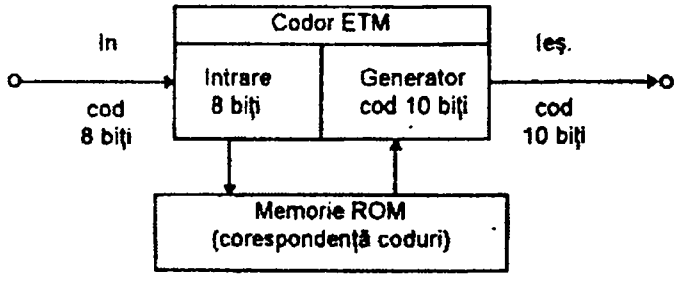


Fig.4.9 Schema bloc a codorului ETM.

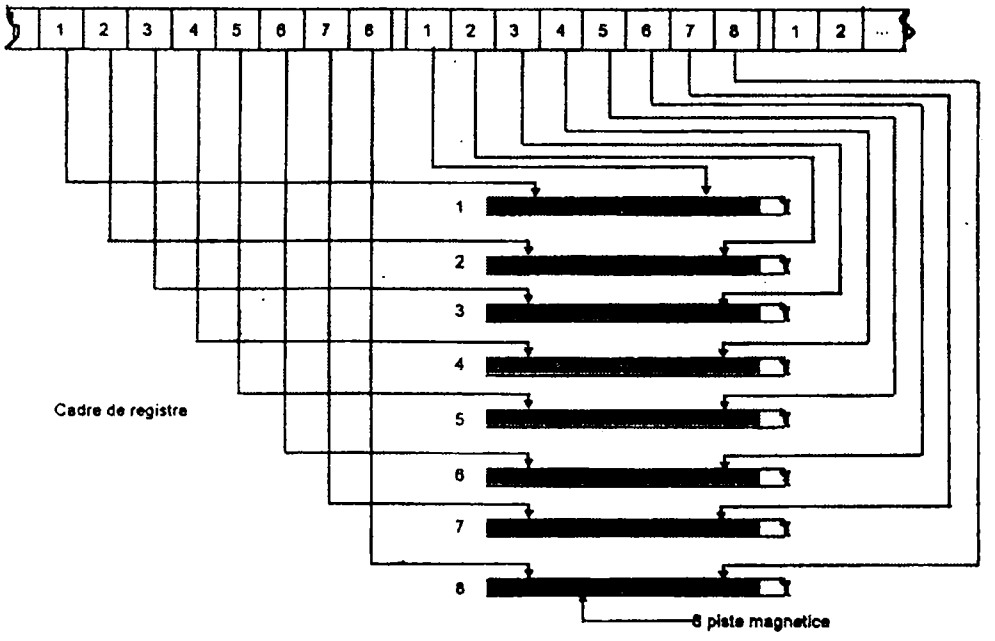


Fig.4.10 Separarea celor 8 căi de ieşire a semnalelor AF pentru înregistrare.

Procesarea este realizată într-un montaj a cărui schemă bloc este dată în figura 4.9. La intrarea codorului se aplică semnalele digitale formate din cuvinte de 8 biţi (indiferent de conţinutul lor informaţional). La ieşire sunt asigurate cuvintele de câte 10 biţi care îndeplinesc condiţia impusă densităţii impulsurilor „unu".

Corespondenţa cod (cuvânt) de 8 biţi – cod (cuvânt) de 10 biţi este biunivoc determinată şi este memorată într-o memorie ROM inclusă în codorul (decodorul) ETM.

4.4.3 SEPARAREA SEMNALULUI AF PE 8 CĂI ŞI ADUCEREA SA LA FORMA NECESARĂ LA ÎNREGISTRARE

Separarea semnalului AF codat ETM pe 8 căi se realizează digital prin divizarea semnalului global, modulat ETM, în câte 8 secvenţe egale; apoi fiecare dintre ele este exprimată (rata biţilor scade) în raportul 1/8 şi formată corespunzător semnalului necesar la înregistrare.

Schema de principiu a prelucrării este dată în figura 4.10. Dintr-un semnal AF digital cu un caracter continuu, prin prelucrare, se obţin deci cele 8 semnale digitale simultane necesare înregistrării pe cele 8 piste paralele cu semnal AF. În plus, acelaşi circuit generează şi semnalul digital auxiliar care conţine informaţii strict necesare prelucrărilor de la citire şi redare.

5

PROCESAREA SEMNALELOR AF DIGITALE LA REDARE

Procesarea semnalelor AF digitale la redare într-un casetofon digital este un proces complementar (în oglindă) al procesării semnalelor la înregistrare.

Acest fapt este evidenţiat şi de schema bloc generală din figura 4.1. La fel ca şi în cazul înregistrării sunt trei etape mari de procesare:

– procesarea semnalului „citit" la redare;
– decodarea PASC;
– refacerea semnalului analogic (prin conversie digital-analogică).

5.1 PROCESAREA SEMNALULUI DE LA „CITIRE"

Semnalul iniţial (de la care se pleacă) în cazul redării este cel „citit" de către capul magnetic, de pe banda conţinută în caseta digitală (DCC).

Schema bloc a procesării semnalelor la redare, plecând de la semnalul iniţial, până la faza de semnale PASC este dată în figura 5.1.

În cele ce urmează vor fi descrise cele mai importante faze ale procesării.

5.1.1 CITIREA SEMNALELOR ÎNREGISTRATE

Trebuie să reamintim faptul că semnalul folosit la înregistrare este de tip NRZI, la care valoarea „unu" este reprezentată de frontul impulsurilor, iar valoarea „zero" de palierul impulsurilor (indiferent de valoarea lor).

Relativ la formatul semnalului NRZI folosit la înregistrare trebuie reamintit şi faptul că îndeplineşte condiţia ca între două valori succesive „unu", totdeauna să fie intercalate minimum unul şi maximum 10 valori „zero", condiţie care face ca frecvenţa maximă a semnalului înregistrat să fie mai mică (maximum 1/2) decît frecvenţa maximă a biţilor semnalului digital corespunzător.

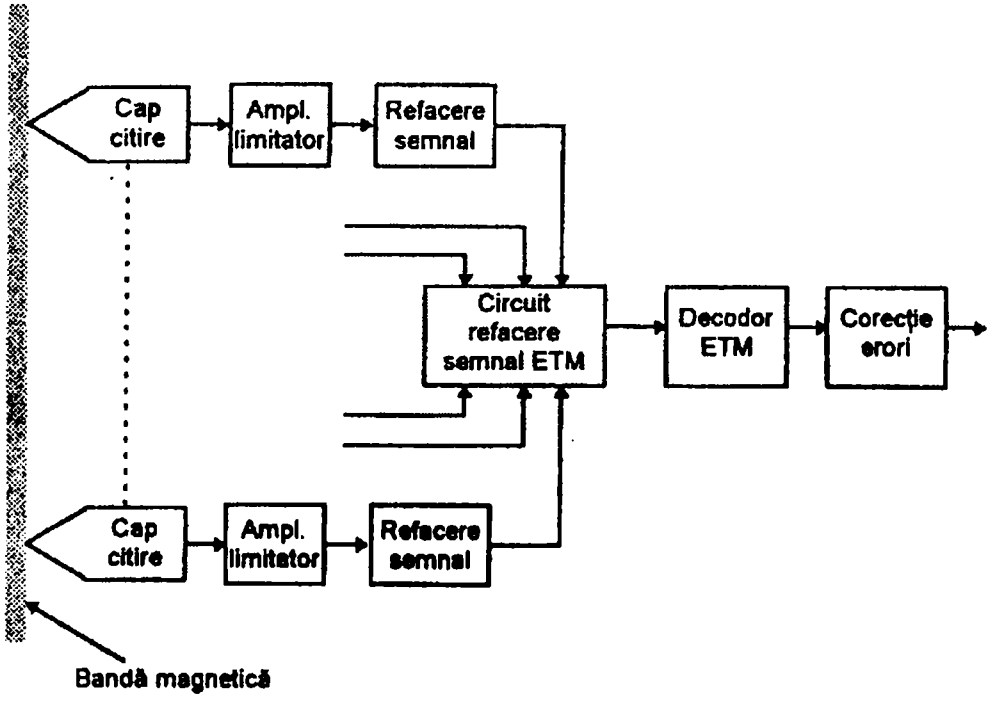


Fig.5.1 Schema bloc a circuitelor de procesare a semnalelor la redare.

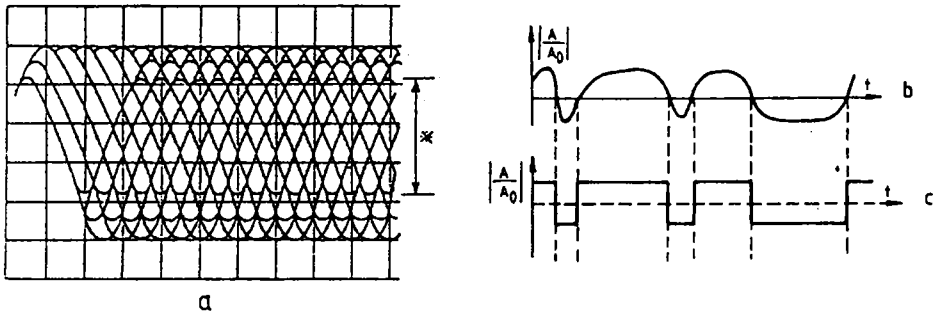


Fig.5.2 Forma semnalelor „citite" de pe banda magnetică:
a – oscilograma semnalului citit de capul magnetic; *b* – forma semnalului „citit" (semnalul de RF);
c – semnalul NRZI cu fronturi refăcute.

Acest format al semnalului este obținut prin codare ETM şi face ca semnalul înregistrat să fie constituit practic dintr-un număr finit de componente de frecvență fixă (în raport fix): f_0, $2f_0$, $3f_0$, $4f_0$ etc. Din acest motiv, oscilograma semnalului „citit" la redare are forma din figura 5.2,*a* care nu este altceva decât suprapunerea mai multor secvențe ale semnalului citit, secvențe de durata perioadei de baleiere orizontale a osciloscopului.

Trebuie remarcat aici că oscilograma semnalului citit de către capul magnetic în cazul DCC are aceeaşi formă cu oscilograma semnalului „citit" optic de pe CD, semnalul digital originar fiind procesat asemănător (codare ETM în cazul DCC şi codare EFM în cazul CD).

În figura 5.2,*b* este dat un exemplu de formă de semnal „citit" de către un cap magnetic de pe banda înregistrată. Este un exemplu de semnal posibil, cu menţiunea că frecvenţa (perioada) sa poate varia în paşi între o frecvenţă minimă (densitate minimă admisă de „unu") şi o frecvenţă maximă (densitate maximă admisă de valori „unu").

Datorită limitărilor în frecvenţă ale sistemului bandă-cap, semnalul „citit" (figura 5.2,*b*) este departe de forma semnalului NRZI de la înregistrare, fronturile având durată relativ mare de creştere (respectiv cădere), iar alura „rotunjită" a formei semnalului făcându-l să fie mai apropiat ca aspect de semnalul sinusoidal, decât de o succesiune de impulsuri (NRZI).

Din acest motiv, prima prelucrare pe care o suferă semnalul citit este „refacerea semnalului NRZI de la înregistrare".

5.1.2 REFACEREA SEMNALULUI NRZI

Operaţiunea în sine, la o privire superficială, pare banal de simplă. Principiul ei este redat în figura 5.3.

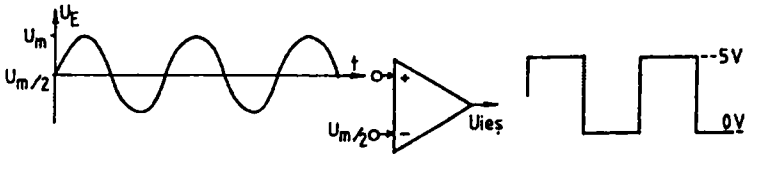


Fig.5.3 Principiul refacerii semnalului digital din semnalul „citit" de capul magnetic.

Unui amplificator operaţional i se aplică la intrarea neinversoare semnalul de tip analogic citit de către capul magnetic. La intrarea inversoare se fixează un nivel de tăiere la jumătatea amplitudinii maxime a semnalului analogic. Datorită amplificării foarte mari a montajului, semnalul de la ieşire va avea fronturi abrupte şi va varia ca nivel între nivelul de referinţă (zero) şi nivelul maxim (valoarea tensiunii de alimentare – uzual 5 V). Nivelul de referinţă al semnalului fixat la 1/2 din valoarea maximă asigură sincronismul semnalului digital cu cel analogic (citit).

În practică lucrurile sunt ceva mai diferite. Cu toate că în timpul prelucrării digitale a semnalelor pentru înregistrare s-au luat măsuri pentru ca valoarea de referinţă a semnalului NRZI să fie nulă (componenta continuă pe care se axează) sau cât mai apropiată de zero, condiţia nu este strict asigurată tot timpul, aşa încât apare o fluctuaţie a axei sale în timp.

Variaţia respectivă are drept consecinţă o decalare fluctuantă în timp a semnalului digital refăcut, ceea ce duce la o lipsă de sincronizare care poate provoca distorsionarea informaţiei. Din acest motiv, este foarte important ca în fiecare moment să fie refăcută axa mediană a semnalului, adică să fie stabilit nivelul jumătăţii amplitudinii sale, care marchează cu exactitate frontul semnalului NRZI.

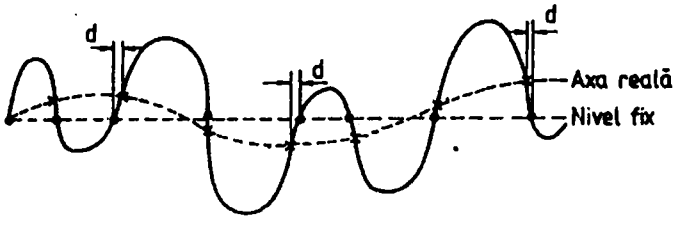


Fig.5.4 Decalarea în timp a semnalelor digitale datorită fluctuației axei semnalului.

În figura 5.4 este dată o situație reală în care axa semnalului are fluctuație față de valoarea fixă a amplitudinii sale. Axa reală intersectează semnalul „citit" în punctele marcate cu „*x*", diferite de punctele de intersecție ale semnalului cu axa fixă. Între pozițiile celor două intersecții apar mici decalaje în timp, notate *d*, care pot provoca falsificarea (distorsionarea) semnalului digital.

Pentru evitarea acestui fenomen nedorit, la refacerea semnalului digital NRZI este folosit un circuit a cărui schemă de principiu este dată în figura 5.5,*a*.

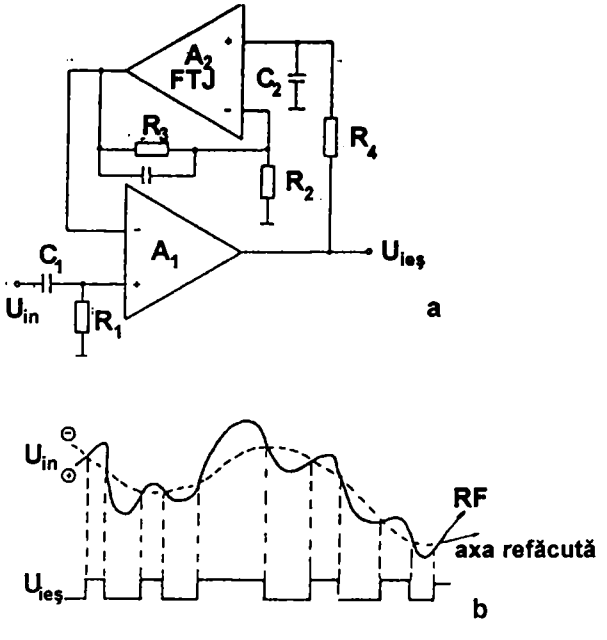


Fig.5.5 Sistem de refacere a semnalului NRZI din semnalul „citit":
a – schema de principiu; *b* – poziționarea frontului impulsului NRZI cu ajutorul axei refăcute.

În acest caz, elementul care asigură referința axei semnalului este un filtru activ de tip trece jos, realizat cu amplificatorul operațional A_2. Semnalul de la ieșirea amplificatorului A_1 este integrat cu ajutorul circuitului (R_4, C_2) și aplicat la intrarea neinversoare a amplificatorului A_2, care constituie un filtru activ trece jos (R_3, C_3). Semnalul de la ieșirea A_2 constituie acum axa de referință a semnalului „citit".

Astfel, la intrarea neinversoare a amplificatorului A_1 se aplică semnalul „citit", iar la intrarea inversoare – semnalul care constituie axa de referință.

La ieşirea A_1 este asigurat semnalul digital NRZI real, în sincronism cu semnalul folosit la înregistrare. Situația este reprezentată în figura 5.5,*b*, unde variația axei semnalului a fost exagerată, tocmai pentru a pune mai bine în evidență principiul de lucru al montajului.

Semnalul NRZI refăcut pe baza procesării semnalului „citit" este reprezentat în figura 5.2,*b*.

5.1.3 REFACEREA SEMNALULUI DIGITAL CLASIC

Următorul pas al prelucrării constă în refacerea semnalului digital original, la care valoarea „unu" este reprezentată de un impuls pozitiv (cu două fronturi) iar valoarea „zero" de valoarea minimă (uzual chiar zero) a semnalului.

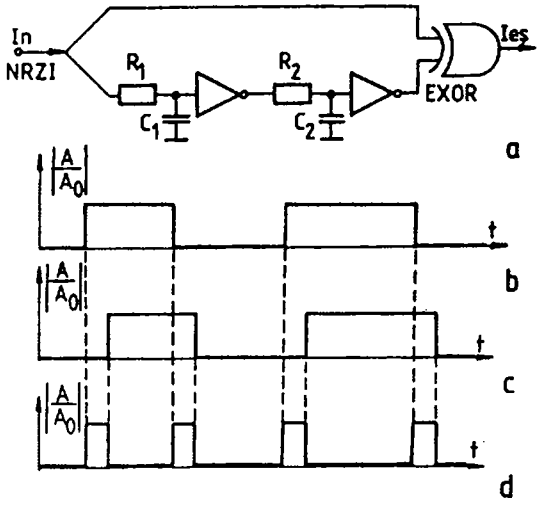


Fig.5.6 Refacerea semnalului digital plecând de la semnalul NRZI:
a – schema bloc a circuitului; *b* – semnalul NRZI; *c* – semnalul NRZI întârziat; *d* – semnalul digital refăcut.

Refacerea semnalului digital este realizată cu un lanț de circuite a cărui schemă bloc este dată în figura 5.6,*a*.

În cele ce urmează ne vom ocupa numai de principiul refacerii semnalului digital clasic, utilizând pentru aceasta semnalul NRZI. Din acest motiv se foloseşte schema simplificată din figura 5.6,*a*. În realitate, lucrurile sunt mult mai complicate, circuitele de refacere făcând parte dintr-un lanț multifuncțional de circuite integrate care asigură şi multe alte funcțiuni necesare procesării semnalelor NRZI (de exemplu sincronizarea cu semnalul de tact etc.).

Semnalul NRZI refăcut din semnalul citit este aplicat la intrarea unui circuit SAU Exclusiv (EXOR).

Forma semnalului NRZI este dată în figura 5.6,*b*. Acelaşi semnal este întârziat cu ajutorul a două celule RC (R_1 C_1, respectiv R_2 C_2) cu o constantă de timp egală cu jumătate din perioada corespunzătoare frecvenței biților (rata biților) şi aplicat la cea de a doua intrare a circuitului EXOR. Forma semnalului NRZI întârziat este dată în figura 5.6,*c*. La ieşirea circuitului SAU Exclusiv se obține semnalul digital original, care la înregistrare a stat la baza generării semnalului NRZI.

Pentru cei mai puțin acomodați cu circuitele logice, amintim că un circuit SAU Exclusiv (EXOR) este circuitul care asigură nivel „unu" la ieşire numai în cazul

în care la una dintre intrări se aplică un semnal „unu" şi la cealaltă semnal „zero" (nivelul de ieşire este „zero" în cazul în care la cele două intrări se aplică simultan acelaşi semnal – fie „zero", fie „unu"). Cunoscând funcţionarea circuitului EXOR se poate explica forma semnalului digital refăcut din semnalul NRZI, prin compararea semnalelor din figurile 5.6,*b* şi 5.6,*c*. Forma sa este dată în figura 5.6,*d*.

În continuare, semnalele digitale de tip clasic corespunzătoare celor 8 piste de înregistrare sunt reunite pentru a se putea reconstitui semnalul AF digital (codat ETM). Schematic procesarea este reprezentată în figura 5.7.

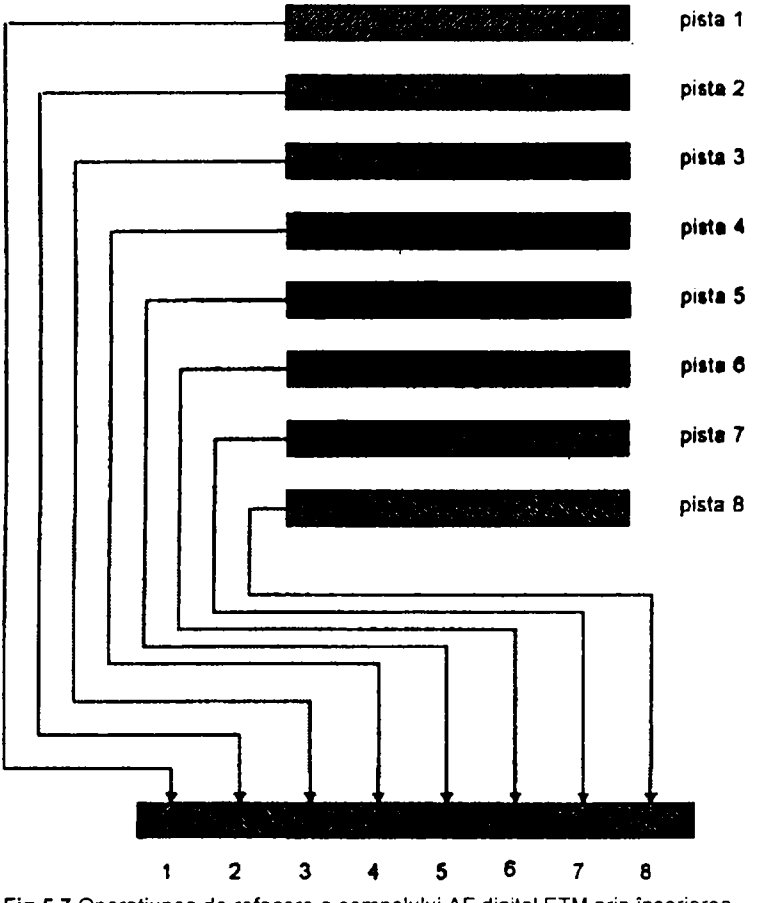


Fig.5.7 Operaţiunea de refacere a semnalului AF digital ETM prin înserierea secvenţelor simultane ale semnalelor provenite de la fiecare pistă (cu o frecvenţă a biţilor multiplicată cu 8).

Semnalele simultane, refăcute, provenite de la fiecare pistă sunt comprimate în timp (citite cu o viteză de 8 ori mai mare decât cea a prelucrărilor de la citire) şi eşalonate succesiv, pentru a se reconstitui semnalul digital codat ETM, care la înregistrare a fost separat pe 8 căi în vederea înregistrării simultane pe 8 piste. La ieşirea circuitului de refacere este prezent semnalul ETM original, de la înregistrare.

La toate aceste procesări pentru sincronizare s-a folosit semnalul înregistrat pe cea de a 9 -a pistă, semnal generat chiar în vederea acestei funcţii.

5.1.4 DECODAREA ETM

Aşa cum s-a menţionat la descrierea procesării de la înregistrare, codarea ETM a constituit una dintre măsurile luate pentru a se asigura un semnal NRZI de o anumită formă.

La redare, codarea ETM a fost necesară în fazele de citire şi refacere a semnalului NRZI.

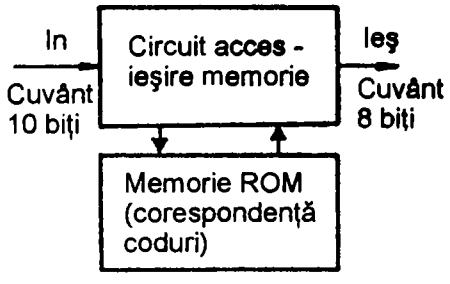


Fig.5.8 Schema bloc a decodorului ETM.

Odată cu obţinerea semnalului digital de tip clasic, în care fiecare bit este exprimat printr-o valoare a impulsului („unu" sau „zero") se trece la decodarea ETM. Aceasta constă în operaţiunea inversă codării. Ea este o procesare logică de stabilire a corespondenţei cuvânt de 10 biţi (ETM) – cuvânt de 8 biţi. Schema bloc de principiu a decodorului ETM este dată în figura 5.8.

La baza funcţionării decodorului stă memoria ROM care conţine tabelul de corespondenţă a cuvintelor de 10 biţi cu cele de 8 biţi (iniţiale). Corespondenţa este aceeaşi cu cea din memoria codorului iar la ieşire cuvintele de 8 biţi sunt semnale digitale convenţionale, forma lor (succesiunea şi numărul de „unu" sau „zero") nefiind afectată de vreo restricţie.

5.1.5 DECODAREA CIRC ŞI CORECTAREA ERORILOR

La paragraful 4.4.1 au fost enumerate principalele motive ale codării CIRC cât şi principiile sale. S-a menţionat deja faptul că această procesare este complexă şi nu poate fi realizată decât cu ajutorul unor circuite integrale LSI ale căror scheme electrice fabricanţii le ţin secrete. De asemenea, s-a menţionat şi faptul că în mod practic utilizatorul nu are acces la procesul de decodare propriu-zis. Din acest motiv ne vom menţine la acelaşi nivel de informaţie generală ca şi în cazul descrierii procesării la înregistrare.

Decodarea presupune parcurgerea inversă a procesării de la codare, semnalul parcurgând întâi decodorul C_1 şi apoi decodorul C_2. Reamintim că erorile care pot să apară pot fi clasificate în două mari categorii:

– erori întâmplătoare (datorate zgomotelor care apar suprapuse peste semnal);

– erori de sincronizare, care au un caracter continuu (datorate de exemplu unor defecţiuni ale benzii magnetice).

Ambele tipuri de erori sunt detectate şi corectate (până la un anumit nivel) de către cele două decodoare corectoare de erori.

La redare corectorul C_1 poate detecta şi chiar corecta erorile unui bloc de semnale înregistrate.

El poate corecta maximum 4 erori (4 valori de eşantioane) pe cadru. Toate erorile necorectate ale semnalului sunt semnalate corectorului (decodorul) C_2, indicînd lipsa simbolului respectiv însă fără a indica şi valoarea sa.

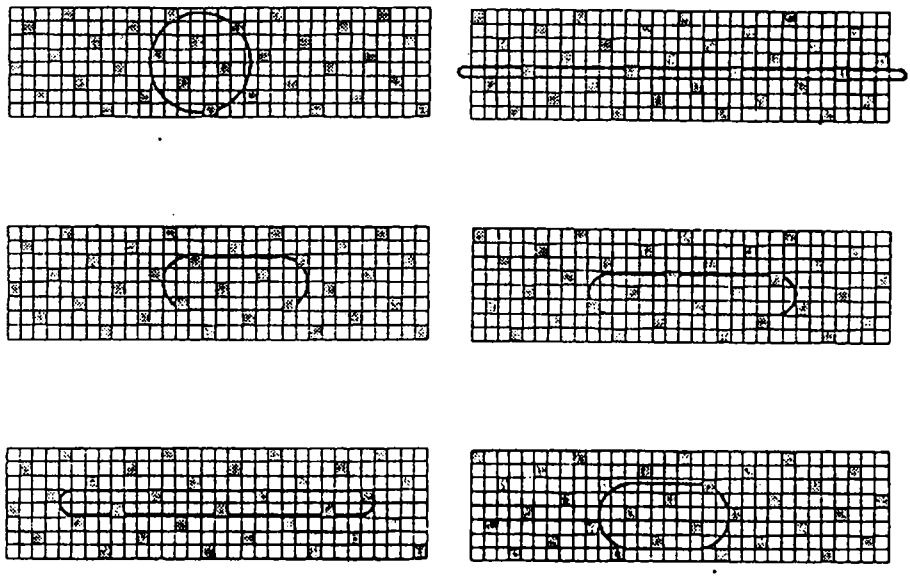


Fig.5.9 Forma suprafeţelor de pe care lipsesc simbolurile, pe care corectorul C_2 le poate corecta.

Maximum de corecţie asigurat de către corectorul C_2 este de 6 erori pe cadru. Din poziţionarea cuvintelor de control, corectorul C_2 reuşeşte să corecteze toate erorile datorate unor distrugeri ale benzii (dropouturi) cu diametrul mai mic de 1,45 mm. Sistemul compensează chiar dropouturi mai largi (de alte forme) cu condiţia ca numărul de simboluri lipsă să fie de maximum 6. În figura 5.9 sunt date ca exemplu 6 situaţii în care corectorul C_2 asigură corecţia erorii. În fiecare situaţie, numărul de erori (lipsă simbol) este 6 – maximum de corecţie posibil pentru C_2.

În practică apar situaţii în care sistemul de corecţie nu mai este eficient, numărul cuvintelor eronate fiind mai mare decât posibilităţile sale de corecţie. În acest caz, cuvintele eronate sunt totuşi marcate iar informaţia eronată este eliminată ulterior prin alte metode. Dintre acestea, cele uzuale sunt următoarele:

Muting

Metoda constă în blocarea căii de sunet pe durata informaţiei eronate. Situaţia este redată în figura 5.10,*a*.

Metoda nu este în general agreată, deoarece efectul sonor este asemănător cu cel provocat de *dropout*-ul de la sistemele audio clasice (analogice), percepându-se ca o întrerupere de scurtă durată a sunetului. În orice caz, efectul produs de *muting* este mai puţin supărător decât efectul sonor produs într-un sistem DCC de către o eroare necorectată.

În exemplul din figură, eroarea necorectată este localizată în eşantionul *d*. Din acest motiv, este eliminat întreg cuvântul eronat, care exprimă valoarea eşantionului, acesta devenind „zero". În practică uzual apar cazuri când prin această metodă sunt eliminate chiar mai multe cuvinte (eşantioane) alăturate, efectul sonor fiind cu atât mai neplăcut.

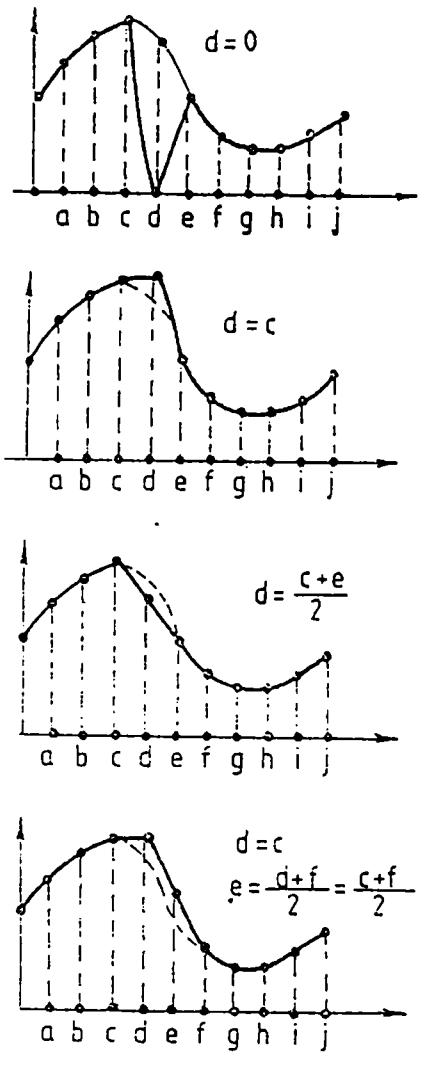


Fig.5.10 Metode de eliminare la redare a erorilor necorectate de decodorul CIRC:
a – muting; *b* – păstrarea valorii precedente; *c* – interpelare; *d* – păstrarea valorii eşantionului precedent şi interpolare.

Păstrarea valorii eşantionului precedent

Acest mod de corecţie constă în a acorda eşantionului (cuvântului digital) care conţine eroarea necompensată, valoarea eşantionului precedent. Situaţia este exemplificată în figura 5.10,*b*.

Ca şi în cazul precedent, eroarea este localizată tot în eşantionul *d*. Valoarea sa (eronată) este eliminată, eşantionului *d* atribuindu-i-se valoarea eşantionului *c*.

Operaţia este simplă, ea presupunând o simplă memorare a cuvântului (eşantionului) *c* şi transmiterea sa în locul cuvântului detectat ca eronat şi deci eliminat.

Interpolare liniară

Teoretic, cât şi practic această metodă asigură cea mai bună aproximare a valorii eronate.

Situaţia este exemplificată în figura 5.10,*c*.

Metoda presupune o memorare şi o întârziere a redării obţinute cu un registru de deplasare. În locul eşantionului *d* detectat ca fiind eronat se va reda un eşantion a cărui valoare este media valorilor eşantioanelor alăturate, *c* şi *e*.

Păstrarea valorii eşantionului precedent şi interpolarea valorii

Metoda este exemplificată în figura 5.10,*d* şi este aplicabilă în cazul redării succesive a două cuvinte eronate. În exemplul din figură eşantioanele succesive *d* şi *e* au drept corespondente două cuvinte eronate. Din acest motiv, primul eşantion eronat, *d* este eliminat şi înlocuit cu valoarea eşantionului precedent, *c*. Al doilea eşantion eliminat, *e*, este înlocuit cu media aritmetică a eşantioanelor care îl încadrează, *d* (adică *c*) şi *f*.

Practic aceste metode de eliminare a erorilor corespund unor defecte (*dropout* uri) ale benzii magnetice a căror suprafaţă depăşeşte o suprafaţă circulară echivalentă cu diametrul mai mare de 1,45 mm.

5.2 DECODAREA PASC

La sfârşitul decodării şi corectării CIRC, semnalul (din care s-au extras cuvintele cheie introduse la codarea CIRC) este semnalul format PASC, organizat pe blocuri de semnal numite cadru, de durată 8 ms. Formatul său a fost descris în paragraful 4.3 şi este dat în figura 4.6. Plecând de la acest format trebuie să se ajungă la semnalul AF digital original parcurgând – invers de data aceasta – tot lanţul de procesare PASC/ decompresie PASC.

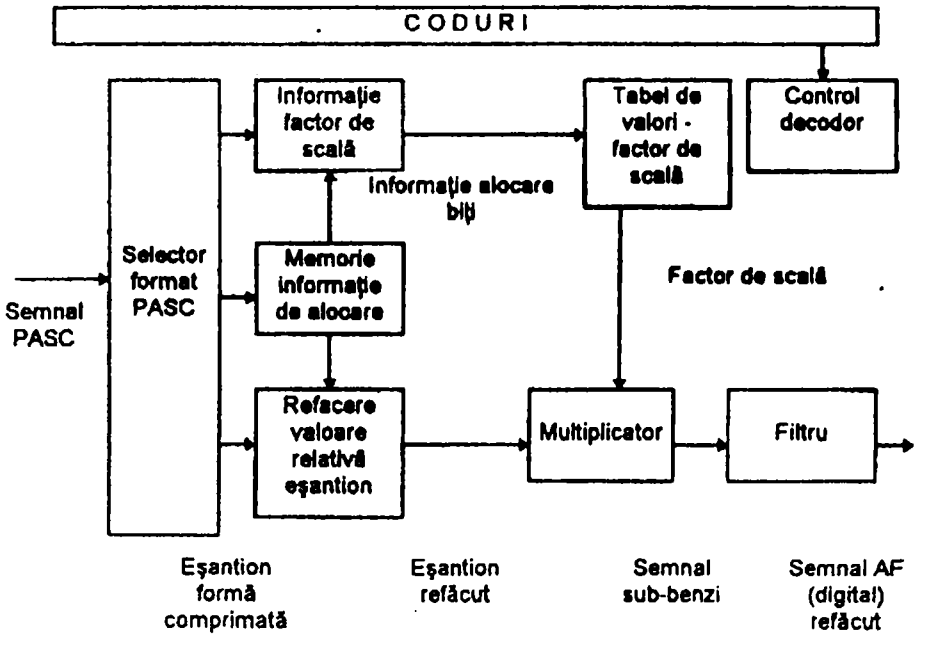


Fig.5.11 Schema bloc a decodorului PASC.

Schema bloc a decodorului PASC este dată în figura 5.11.

La intrarea decodorului se aplică semnalul PASC al cărui format şi conţinut le considerăm cunoscute, iar la ieşire se obţine semnalul de AF digital al cărui format este de asemenea cunoscut, el fiind descris în paragraful 4.1.

Semnalul AF digital de la ieşire se prezintă ca o succesiune de cuvinte de câte 32 biţi (16 biţi – AF dreapta, 16 biţi – AF stânga) fiecare corespunzător valorii eşantionului redat.

Nu insistăm asupra procesării intime deoarece aceasta oricum nu este accesibilă utilizatorului, ea realizându-se într-unul sau în mai multe circuite integrate de mare complexitate, iar schema bloc din figura 5.11 considerăm că este suficient de sugestivă pentru a marca toate etapele decodării PASC.

Subliniem faptul că semnalul AF digital refăcut, de la ieşire, deşi aproximează foarte bine semnalul digital AF de la intrare, nu este identic totuşi cu acesta, din el fiind eliminate în urma procesării PASC informaţiile inutile – cele referitoare la eşantioanele plasate sub pragul de audibilitate.

5.3 CONVERSIA DIGITAL – ANALOGICĂ

Conversia digital-analogică este ultima procesare suferită de semnalul AF digital. În urma acestei procesări, semnalul digital format dintr-un flux de impulsuri care exprimă biţii informaţiei, şi care este caracterizat de o rată a biţilor de 1 536 kbiţi/s este transformat într-un semnal AF analogic, cu caracteristici cunoscute.

Principiile conversiei digital-analogice au fost descrise în paragraful 2.3 unde au fost descrise şi principalele sale caracteristici generale.

În cele ce urmează vom încerca să evidenţiem câteva aspecte legate de practica conversiei A/D, care se reflectă în soluţiile tehnice utilizate pentru realizarea acestei procesări.

În tehnica procesării digitale AF, conversia A/D se bucură de o atenţie deosebită, deoarece ea condiţionează strict calitatea semnalului AF refăcut. Degeaba lanţul de procesare digitală extrem de complicat şi ultracontrolat de microprocesoare asigură perfomanţe profesionale, dacă ultima verigă, conversia digital-analogică nu este pe măsură! Din acest motiv, producătorii (proiectanţii) de casetofoane digitale dau cel puţin aceeaşi importanţă acestei operaţii cât şi operaţiilor de prelucrare digitală a semnalului.

Din punct de vedere tehnic (şi tehnologic), montajele convertoare D/A realizate după principiile clasice (convenţionale) au ajuns deja la limitele superioare ale performanţelor. La un convertor D/A lucrând cu cuvinte de 16 biţi şi folosind filtre analogice, raportul semnal-zgomot la redare nu poate depăşi 96 dB, iar utilizarea filtrelor analogice cu pantă mare duce automat la apariţia unor neliniarităţi în bandă şi distorsiuni de fază ale semnalului.

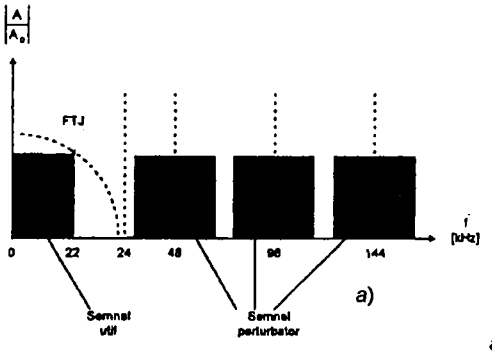
Pentru îmbunătăţirea calităţii semnalului AF redat, producătorii de casetofoane digitale au apelat la prelucrări digitale foarte sofisticate, asemănătoare cu cele din CD player sau din studiourile profesionale.

În principiu, prelucrarea constă în procesări complexe, a căror explicare teoretică necesită un aparat matematic de foarte înalt nivel. Întrucât intenţia autorilor este aceea de a se face înţeleşi de electronişti şi în special de cei practicieni, în cele ce urmează se va încerca explicarea fizică a acestor prelucrări, marcând elementele lor specifice.

5.3.1 FILTRAREA SEMNALELOR AF ŞI FILTRELE UTILIZATE

Elementul esenţial în asigurarea calităţii semnalelor AF analogice refăcute prin conversia D/A este filtrarea lui.

Se ştie de la prelucrarea pentru înregistrare că semnalul AF are o bandă de frecvenţe de ordinul a 20...22 kHz, iar frecvenţa de eşantionare este de 48 kHz. La redare, pentru a elimina componentele de frecvenţă superioară ale semnalului refăcut, este necesară folosirea unui filtru trece jos, cu pantă foarte mare de cădere a flancului caracteristicii. Situaţia este redată în figura 5.12.



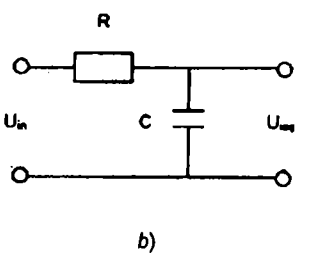
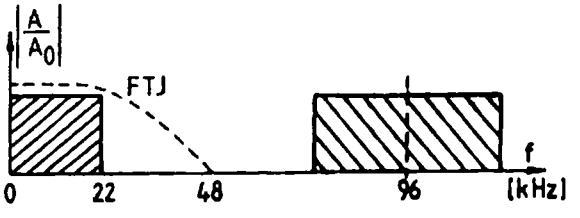


Fig.5.12 Eliminarea componentelor perturbatoare cu ajutorul filtrului trece jos:
a – spectrul semnalelor la ieşirea convertorului D/A;
b – celula de bază (RC) a filtrului trece jos.



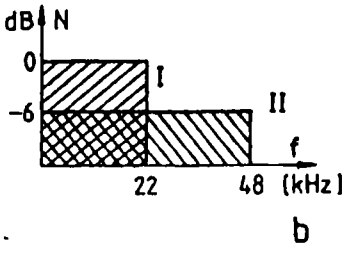


Fig.5.13 Efectul creşterii **frecvenţei de eşantionare**:
a – depărtarea spectrului **perturbator de spectrul** util;
b – zgomotul (N – noise=zgomot) în **cele** două situaţii:
I – frecvenţă de eşantionare 48 kHz; *II* – frecvenţă de eşantionare 96 kHz.

Datorită refacerii semnalului AF prin metoda clasică cu refacerea fiecărui eşantion în parte (trecerea de la o valoare de eşantion la următoarea, prin salt), spectrul semnalului refăcut va fi foarte larg şi va avea forma din figura 5.12,*a* Eliminarea semnalelor perturbatoare trebuie realizată cu un filtru trece jos cu multe celule RC (figura 5.12,*b*).

Datorită caracteristicii foarte abrupte impuse filtrului, el va afecta şi caracteristica AF (semnal util refăcut) în special în zona frecvenţelor audio înalte şi va introduce distorsiuni mari de fază, ambele având ca efect scăderea calităţii sunetului. Aici trebuie să facem următoarea remarcă: scăderea calităţii sunetului datorată efectului filtrului trece jos este insesizabilă pentru marea majoritate a auditoriului, mai puţin avizat, însă reprezintă o mare lipsă în ochii (mai bine zis: urechile) unei mici părţi a auditoriului, formată din persoane cu înaltă pregătire muzicală şi/ sau cu deosebit simţ acustic.

O soluţie a îmbunătăţirii calităţii constă în mărirea frecvenţei de eşantionare. La simpla sa dublare, lucrurile s-ar îmbunătăţii simţitor. Panta de tăiere a filtrului ar putea fi mult mai lentă, fără a mai perturba semnalul util, iar zgomotul s-ar reduce cu 6 dB. Situaţia este reprezentată foarte schematic în figura 5.13.

În cazul prelucrării clasice această soluţie este imposibilă, frecvenţa de eşantionare fiind standardizată (48 kHz) iar la conversia D/A de la redare se foloseşte aceeaşi frecvenţă. Lucrul devine însă posibil prin folosirea unor filtre speciale, numite „filtre digitale", care asigură o eficienţă sporită a filtrajului, însă aceasta în acelaşi timp presupune o complexitate deosebită a prelucrării, realizabilă numai cu ajutorul unor circuite integrate cu grad mare de integrare.

5.3.2 FILTRE DIGITALE

De la început subliniem faptul că principiul de funcţionare al filtrelor digitale diferă de principiul de funcţionare al filtrelor analogice cunoscute. Filtrele digitale asigură o prelucrare digitală (numerică) a datelor, foarte riguroasă, al cărei efect este însă superior celui obţinut cu un filtru analogic, atât din punct de vedere al separării, cât şi al liniarităţii la frecvenţele superioare ale benzii AF.

Ceea ce se înţelege actualmente printr-un filtru digital este un dispozitiv electronic caracterizat prin următoarele:

– primeşte la intrare cuvinte digitale serie, formate fiecare dintr-un anumit număr de biţi, cel folosit pentru exprimarea valorii fiecărui eşantion;

– generează intern un număr de cuvinte (eşantioane) suplimentar faţă de cel de la intrare, prin prelucrarea logică a acestora;

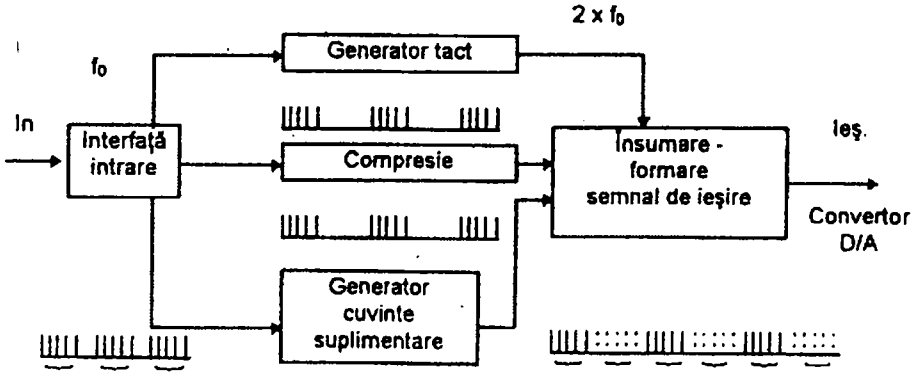


Fig.5.14 Schema bloc a filtrului digital cu multiplicare 2.

– asigură la ieşire un număr de eşantioane (cuvinte) mai mare decât cel de la intrare, cu frecvenţa biţilor crescută, într-un raport multiplu de 2 al frecvenţei de referinţă (2,4,8 etc.). Eşantioanele (cuvintele corespunzătoare) de la ieşire vor fi practic de două tipuri: eşantioane originale (însă cu frecvenţa biţilor multiplicată) şi eşantioane generate de către filtru după o anumită regulă.

Efectul acestei creşteri artificiale a informaţiei este comparabil cu cel al unei eşantionări cu o frecvenţă superioară, cu toate efectele ei benefice asupra

separării semnalelor utile de cele perturbatoare. Este vorba despre o supra-eşantionare (sau *oversampling*, în limba engleză).

Ea constă în comprimarea datelor existente şi inserţia datelor create în filtru în perioada de timp rămasă disponibilă prin compresia datelor iniţiale.

Schema bloc a unui filtru digital este dată în figura 5.14.

Din figură se vede rolul filtrului şi anume, multiplicarea cu 2 (în acest caz) a cuvintelor (eşantioanelor), ceea ce face ca semnalul de la ieşire (care se aplică unui convertor D/A) să se comporte ca un semnal eşantionat cu frecvenţă dublă.

Principiul supraeşantionării este explicat în figura 5.15 de aici reieşind şi efectul său asupra semnalului de AF refăcut prin conversia D/A.

Semnalul aplicat la intrare, este un semnal digital, asemănător semnalului rezultat la ieşirea convertorului analog-digital (A/D) de la intrarea casetofonului digital. Pe durata unei perioade de eşantionare (1/48 000 Hz = 20,83 μs) sunt transmişi 32 de biţi (16 biţi pentru eşantionul AF stânga – *LData* – şi 16 biţi pentru eşantionul AF dreapta – *RData*). Situaţia este redată în figura 5.15.*a*, unde cu *CLK* a fost notat semnalul de tact (*clock*). În cazul reconstituirii semnalului AF analogic, acesta refăcut cu ajutorul a câte unui eşantion (grup de biţi) pentru fiecare punct al său. În exemplul dat, semnalul este refăcut în 8 puncte (la momentele t_0... t_7), fiecărui punct fiindu-i afectat câte un cuvânt de 32 biţi (16 biţi AF dreapta, 16 biţi AF stânga), totul pe durata unei perioade de eşantionare de 20,83 μS. Altfel spus, diferenţa între oricare dintre două momente succesive (t_0...t_7) este de 20,83 μs, iar valorile eşantioanelor sunt date de codul cuvintelor, marcate cu *A* pentru canalul AF stânga (*LData*) şi *A'* pentru canalul AF – dreapta (*RData*).

În cazul supraeşantionării prin metode digitale, durata impulsurilor care marchează biţii de informaţie este comprimată. În exemplul din figura 5.15,*b*, comprimarea se face în raport 1/2 (deci, este echivalentul dublării frecvenţei de eşantionare).

Valoarea frecvenţei de tact va fi (în cazul DCC) de 96 kHz, iar durata transmiterii unui eşantion (cuvânt) de 32 biţi va fi de 10,42 μs. Pe durata normală a transmisiei codului se transmit cuvintele *A* şi *A'* iniţiale, comprimate (în timp, nu în conţinut) şi rămâne timp şi pentru transmiterea a încă două valori de eşantioane *B* şi *B'* create chiar în filtru. Corespunzător numărului crescut de eşantioane şi reproducerea semnalului analogic va fi mai bună, zgomotul de cuantizare fiind redus cu 6 dB în banda semnalului util.

În figura 5.15,*c* este redată situaţia în care frecvenţa echivalentă de eşantionare devine cuadruplă. Perioada de transmitere a informaţiei se reduce la 5,21 μs, iar numărul de eşantioane creşte de 4 ori faţă de situaţia iniţială. Acum, pe durata timpului afectat iniţial transmiterii unui eşantion, sunt transmise 4 eşantioane: eşantionul original *A* şi trei noi eşantioane generate de către filtrul digital, notate cu *B*, *C* şi *D*.

Situaţia este echivalentă cu cea a unei eşantionări cu frecvenţă cuadruplă, la care reproducerea semnalului AF digital este net superioară situaţiei iniţiale, faţă de care zgomotul de cuantizare este mai redus cu 12 dB, iar filtrul de separare are o sarcină foarte uşoară.

Poziţiile pe scara frecvenţelor a benzii semnalului util şi a spectrului de frecvenţe ale semnalului perturbator cât şi caracteristica filtrului trece jos necesar în cazul supraeşantionării cu 4 x f_0 sunt date în figura 5.15,*d*.

Din cele de mai sus, reiese superioritatea de necontestat a filtrelor digitale faţă de oricare soluţie clasică de filtrare a semnalului AF după conversia D/A

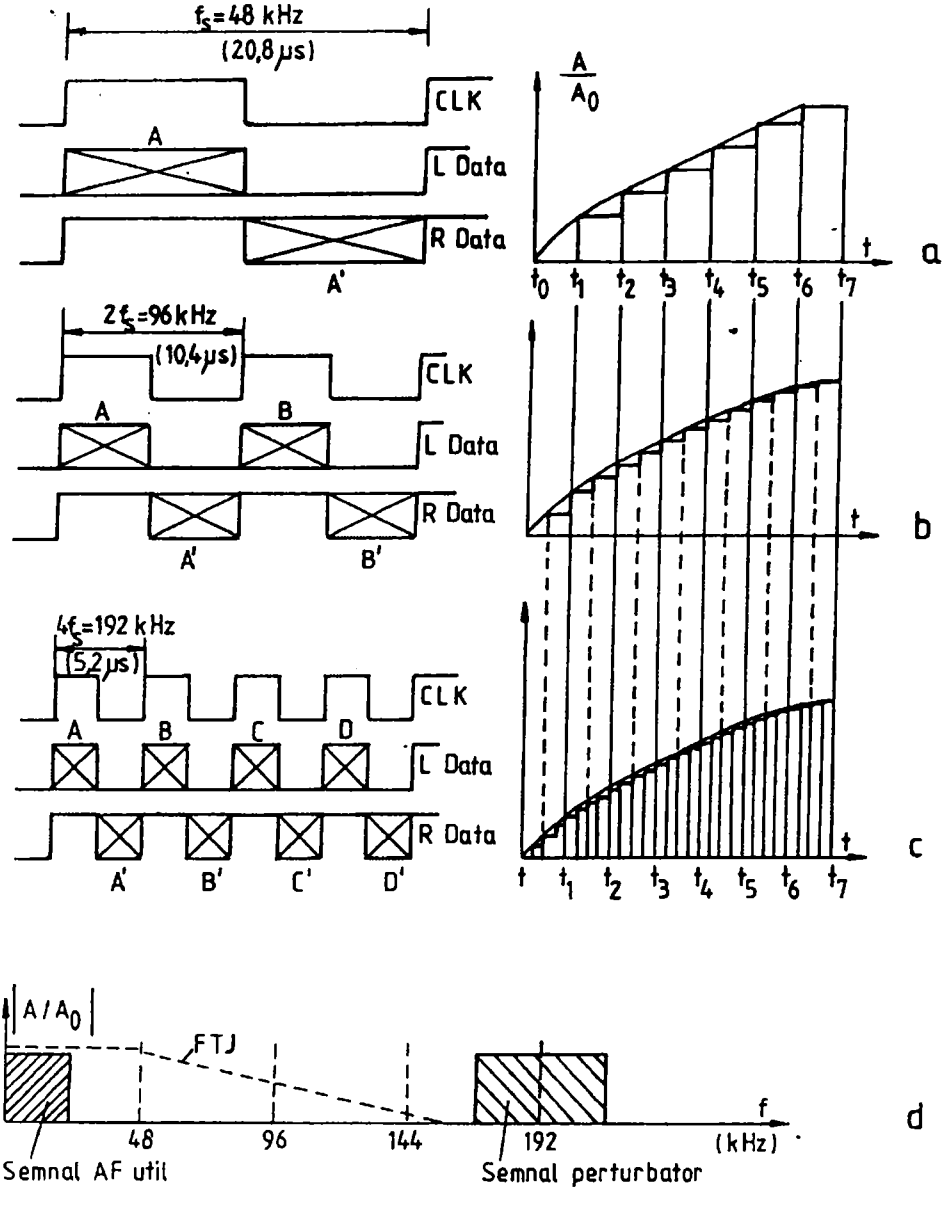


Fig.5.15 Principiul supraeşantionării:
a – eşantionarea cu frecvenţa iniţială, f_0; *b* – supraeşantionare cu frecvenţă dublă: $f = 2 \times f_0$;
c – supraeşantionare cu frecvenţă cuadruplă, $f = 4 \times f_0$; *d* – efectul supraeşantionării
(caracteristica filtrului „trece jos" de separare a semnalului util).

Şi în această situaţie apar însă două inconveniente:

– filtrul digital presupune generarea unor cuvinte (eşantioane) noi, artificiale, care dacă n-au o valoare foarte apropiată de valoarea reală, pot falsifica semnalul AF redat;

– un filtru digital presupune o procesare complexă cu multe funcţiuni, ceea ce duce automat la circuite complexe, deci costisitoare.

Aceste probleme se pare că au fost rezolvate în ultimii ani datorită progreselor tehnologice spectaculoase din electronică. Astfel, acum în lume există mai multe firme producătoare de circuite integrate, care într-un singur cip realizează nu numai filtrul digital cu toate funcţiile logice, dar şi convertorul D/A care-l urmează.

În ceea ce priveşte costurile, tot datorită progreselor tehnologice, acestea au scăzut semnificativ, nemaiconstituind actualmente un impediment în calea utilizării filtrelor digitale în producţia bunurilor de larg consum.

6

PARTICULARITĂŢI TEHNICE ŞI TEHNOLOGICE ALE CASETOFOANELOR DIGITALE

Datorită particularităţilor specifice operaţiunilor de înregistrare-redare în casetofoanele digitale, apar şi o serie de particularităţi tehnologice ale realizării şi funcţionării principalelor componente (specifice) ale casetofonului propriu-zis.

În cele ce urmează ne vom ocupa numai de aspectele legate de elementele tipizate ale casetofoanelor:

– dimensiunile benzii şi pistelor cu înregistrare magnetică;
– construcţia şi dimensiunile capului magnetic;
– construcţia şi dimensiunile casetei digitale.

6.1 ÎNREGISTRAREA ŞI POZIŢIONAREA PISTELOR PE BANDA MAGNETICĂ

În primul rând, câteva cuvinte despre banda magnetică utilizată pentru înregistrare.

Ea este formată dintr-un suport din material plastic (tip film) acoperit cu un strat din material magnetic. Nu intrăm în amănunte, deoarece structura sa este foarte asemănătoare cu cea a benzii magnetice din caseta audio clasică sau din caseta video. Înregistrarea se realizează pe zona superficială de strat magnetic a benzii.

În figura 6.1 este redat principiul înregistrării magnetice a informaţiei digitale. Cu ajutorul capului magnetic este creat un câmp magnetic local, notat H/R, care se aplică stratului magnetic de pe banda care se deplasează cu viteză constantă faţă de cap. După trecerea unui sector de bandă prin dreptul capului, materialul magnetic al benzii rămâne polarizat, în figură câmpul remanent fiind notat cu B/R.

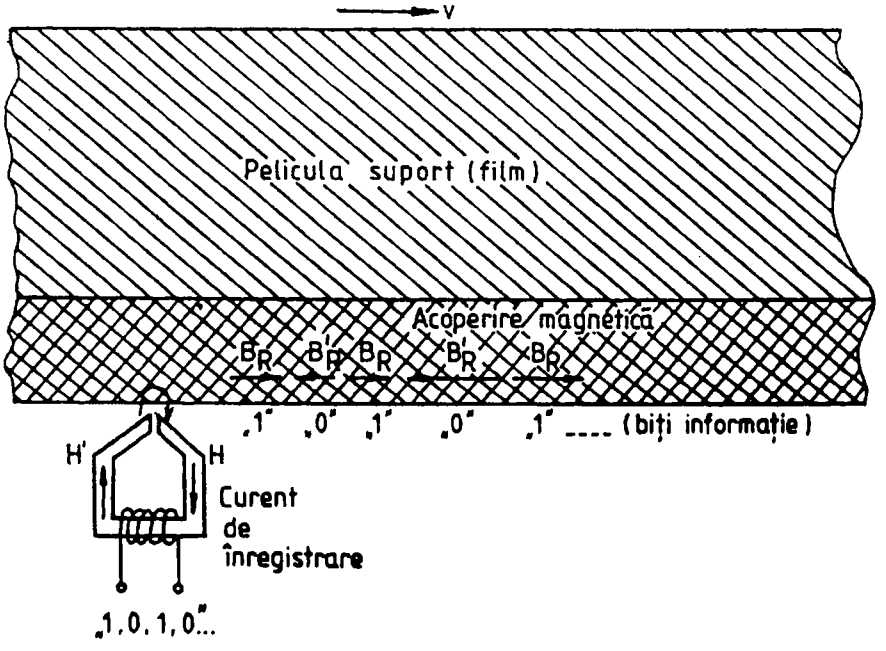


Fig.6.1 Înregistrarea-redarea semnalelor digitale pe bandă magnetică.

Funcţie de polaritatea impulsului, câmpul remanent va avea un sens sau altul (a nu se uita că valoarea digitală „unu" este marcată de frontul impulsurilor, adică zona de schimbare a polarităţii câmpului remanent).

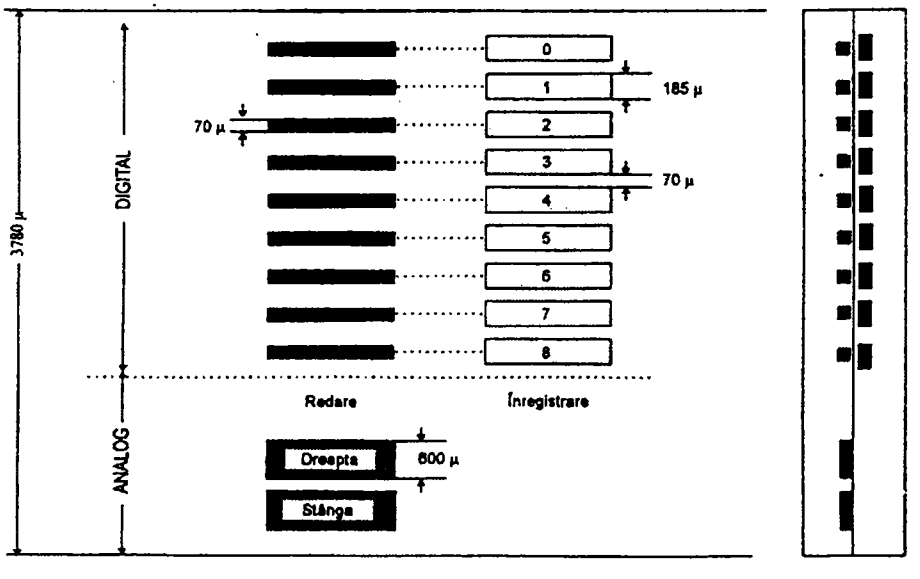


Fig.6.2 Poziţionarea şi dimensiunile pistelor cu înregistrarea magnetică pe bandă.

La redare, procesul este invers. La trecerea benzii prin dreptul capului de redare, câmpul magnetic remanent înregistrat va induce prin bobinajul capului un curent care reprezintă semnalul „citit".

Înregistrarea, aşa cum s-a menţionat deja, se realizează pe 9 piste paralele, pe fiecare dintre cele două sensuri (jumătăţi) ale benzii. Dimensiunile şi poziţionarea standardizată a pistelor pe bandă este dată în figura 6.2. Se remarcă faptul că lăţimea pistei înregistrate este mult mai mare (185 microni faţă de 70 microni) decât lăţimea (fanta) de citire a capului magnetic. În acest mod, se elimină problemele legate de deviaţiile unghiulare (eroarea de azimut) cât şi erorile de poziţionare a capului la citire.

În figură, în jumătatea de jos a benzii sunt reprezentate cele două piste pe care se înregistrează semnalul AF analogic, în cazul în care casetofonul este prevăzut cu ambele opţiuni: înregistrare-redare digitală şi înregistrare-redare analogică (clasică).

Alăturat, în figură este reprezentat capul magnetic, la care fantele de înregistrare-redare sunt dispuse pe axa N–S (perpendiculară) a blocului constructiv care constituie capul magnetic multiplu. Pentru funcţionare în regim digital se remarcă faptul că funcţiunile de cap de înregistrare, respectiv cap de redare sunt asigurate de două dispozitive separate, cu fante de dimensiuni diferite.

În cazul înregistrării-redării în regim AF analogic, sunt folosite aceleaşi capete atât pentru înregistrare cât şi pentru redare, soluţie cunoscută de la casetofoanele uzuale (analogice).

6.2 CONSTRUCŢIA CAPULUI MAGNETIC

În cazul casetofoanelor digitale, prin cap magnetic se înţelege un întreg ansamblu care conţine toate capetele necesare înregistrării, respectiv redării semnalului AF (digital sau analogic).

Blocul de capete magnetice utilizat în casetofoanele digitale are structura din figura 6.3. Se remarcă aici faptul că pe verticală, în partea de sus (localizarea este arbitrară şi are ca referinţă desenul din figura 6.3, mai precis pe jumătate din axa sa sunt localizate cele 9 x 2 capete dispuse în pereche, unul de înregistrare, celălalt de redare) care corespund funcţionării casetofonului în regim digital.

Din figura 6.3,*b* reies dimensiunile diferite ale fantelor de înregistrare, respectiv redare. Pe cea de a doua jumătate a axei sunt plasate cele două capete de înregistrare-redare pentru semnalul AF digital.

Folosind astfel de capete, într-un casetofon digital există două soluţii, pentru a asigura înregistrarea, respectiv redarea unei casete pe ambele sensuri (jumătăţi ale benzii):

folosirea unui singur cap magnetic însă cu posibilitatea rotirii lui cu 180 grade,

folosirea a două capete orientate invers.

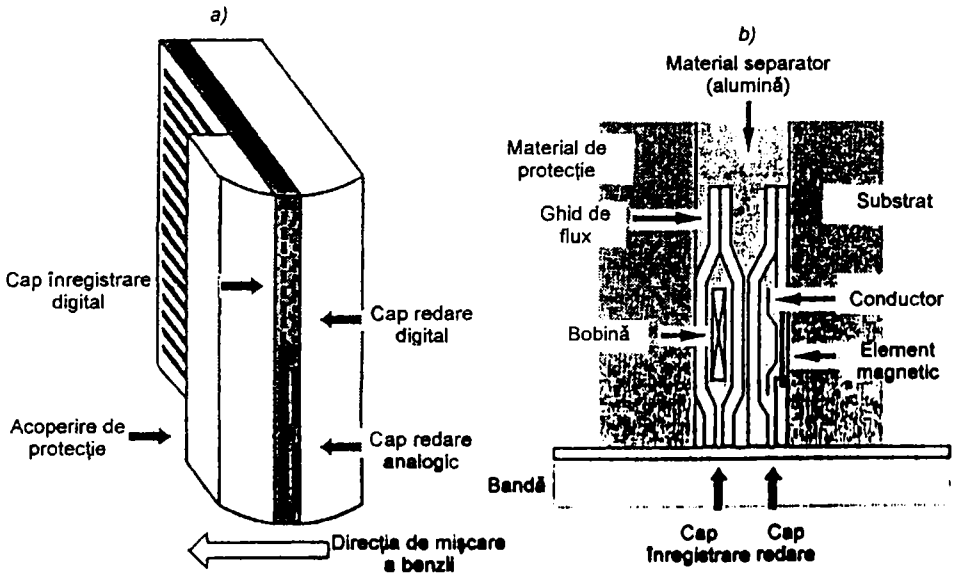


Fig.6.3 Structura constructivă a blocului de capete magnetice:
a **– vedere din faţă;** *b* **– secţiune printr-un cap digital.**

Situaţia este redată în figura 6.4, cu menţiunea că problema a apărut datorită faptului că o casetă DCC are o poziţionare unică în locaşul ei, nepermiţând aşezarea pe oricare faţă a sa. Aceasta duce la necesitatea schimbării poziţiei capului în cazul trecerii de la utilizarea uneia dintre jumătăţile benzii la cealaltă.

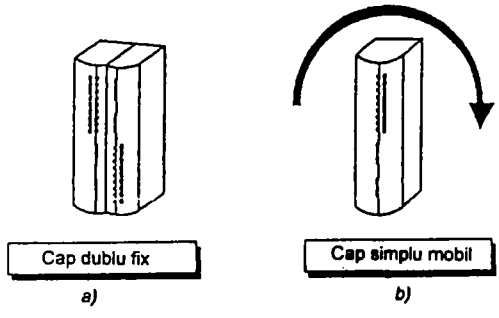


Fig.6.4 Tipuri constructive de capete magnetice:
a **– cap fix;** *b* **– cap rotativ.**

6.3 CASETA AUDIO DIGITALĂ – DCC

La apariţia casetofonului digital, au fost folosite mai multe tipuri de casete. Cea care s-a impus este un fel de combinaţie între caseta audio clasică şi caseta video. Dimensiunile sale sunt apropiate de cele ale casetei audio, însă forma constructivă este mai apropiată de cea a casetei video cu aproape toate caracteristicile sale: clapă de protecţie a benzii care se ridică la introducerea casetei în lăcaş, poziţie unică la funcţionare (nu permite introducerea casetei decât într-o singură poziţie), cod de găuri în carcasă, pentru recunoaşterea de către casetofon a câtorva dintre caracteristicile sale etc.

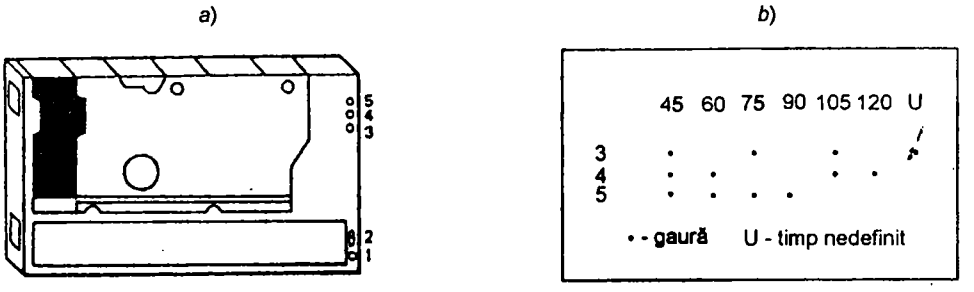


Fig.6.5 Construcţia DCC:
***a* – forma casetei neînregistrate; *b* – codul adâncîturilor de pe casetă.**

Forma constructivă a casetei este dată în figura 6.5,*a*. Cele 5 adâncituri (găuri) poziţionate pe marginea casetei au următoarele semnificaţii:

1 – Detecţie regim funcţionare casetofon: regim digital (lipsă)/ regim analogic (există).

2 – Protecţie la ştergere: nu poate fi ştearsă (lipsă)/ poate fi ştearsă (există).

3,4,5 – Durata înregistrării/ redării conform codului dat în figura 6.5,*b*.

Pe piaţă sunt vândute şi casete înregistrate profesional. Acestea, din start au cele 5 adâncituri obturate. Ele sunt înregistrate sigur digital (adâncitura nr.1), nu trebuie şterse accidental (adâncitura nr.2), iar durata înregistrării este deja marcată în informaţile auxiliare, înregistrate pe bandă.

În plus, aceste casete pot fi prevăzute cu o adâncitură sub formă de fantă, pe latura opusă celei cu adâncîturile de cod, care comandă încărcarea automată a casetei la introducerea sa în lăcaşul din casetofon. Prin încărcare, se înţelege aducerea casetei în poziţia de utilizare în regim de redare (poziţie, ridicare clapetă de protecţie, presat bandă pe capul magnetic etc.).

PRESCURTĂRI ÎN LIMBA ENGLEZĂ, UTILIZATE ÎN TEHNICA DCC

A / D (*Analog to Digital converter*) – **Convertor analog digital: dispozitiv electronic** care asigură transformarea **semnalelor analogice în semnale digitale.**

BCD (*Binary Coded Decimal*) – **Valori decimale exprimate binar/ Corespondentul binar.**

BCLK (*Bit Clock*) – **Semnal de tact de bit.**

BDO (*Black Dropout*) – **Dropout negru: Lipsă totală a semnalului; lipsă semnal AF** datorată unui **defect al benzii magnetice.**

BIT (*Binary Digit*) – **Cifră binară folosită în baza de numeraţie 2 (poate avea două** valori: „unu" sau „zero").

CD (*Compact Disc*) – **Discul compact** propriu-zis/ aparatul care permite redarea înregistrării **AF de pe un compact** disc/ principiul care stă la baza tehnicii înregistrării (redării **compact discului).**

CDP (*Compact Disc Player*) – **Aparatul utilizat la redarea înregistrării AF de pe un** compact disc.

CIRC (*Cross Interleaved Reed Solomon Code*) – Cod Solomon cu intercalare încrucişată: **metodă de codare a** datelor pentru protecţia la erori.

D/A (*Digital to Analog converter*) – Convertor analog – digital: Dispozitiv electronic ce asigură transformarea semnalelor digitale în semnale analogice.

DAT (*Digital Audio Tape*) – Bandă audio digitală: Tehnică, metodă şi suport pentru înregistrarea magnetică a semnalelor digitale AF pe bandă magnetică.

DCC (*Digital Compact Casette*) – Casetă compactă digitală: Tehnică, metodă şi suport pentru înregistrarea magnetică a semnalelor AF digitale pe casete speciale cu bandă magnetică.

DO (*Dropout*) – Întrerupere a semnalului AF datorată unor cauze accidentale (deteriorarea benzii magnetice sau defecţiune de scurtă durată a sistemului de redare).

EFM (*Eight to Fourteen Modulation*) – Modulaţie 8 la 14: Prelucrare (codare) a datelor digitale, prin care un cuvânt de 8 biţi este înlocuit printr-un cuvânt de 14 biţi, după o anumită regulă utilizată atât la codare cât şi la decodare.

ETM (*Eight to Ten Modulation*) – Modulaţie 8 la 10: Prelucrare (codare) a datelor digitale, prin care un cuvânt de 8 biţi este înlocuit printr-un cuvânt de 10 biţi, după o anumită regulă utilizată atât la codare cât şi la decodare.

H (*High*) – „Unu", „da", valoare „mare" a impulsului în timpul prelucrării semnalelor în circuitele electronice.

L (*Low*) – „zero", „nu", valoare „mică" (nulă) a impulsurilor în timpul prelucrării semnalelor în circuitele electronice.

MUT (*Muting*) – Blocarea căii de semnal AF. Poate fi automată (la apariţia/ detectarea unui dropout) sau la comanda utilizatorului, pe durata dorită.

NRZI (*Non Return to Zero Inverted*) – Impulsuri inversate fără revenire la zero: Semnal digital la care valoarea „unu" (high) este reprezentată de un front, iar valoarea „zero" (low) este reprezentată de o valoare constantă (indiferent care) a semnalului.

PASC (*Precision Adaptive Sub-band Coding*) – Codare adaptivă de precizie pe subbenzi: Metodă de compresie a semnalului digital AF, prin care semnalul este redus la 25% din conţinut, fără a afecta calitatea sunetului reprodus.

PLL (*Phase Locked Loop*) – Buclă închisă cu calare pe fază: Circuit electronic caracterizat prin aceea că asigură compararea frecvenţei sau/ şi fazei unui semnal exterior cu un semnal interior generat de un oscilator comandat în tensiune (VCO). Scopul final este sinfazarea oscilatorului local cu semnalul exterior, pentru aceasta bucla generând un semnal de eroare.

THD (*Total Harmonic Distortion*) – Distorsiuni armonice totale: parametru al semnalului AF la redare.

BIBLIOGRAFIE

1. BĂŞOIU M, ŞTEFAN E. *Compact Disc*, Editura Teora, 1995.
2. THEUNISSEN LUC. *PCM-F$_1$*, Sony Training Text (Belgium).
3. *** *Design in guide. CD players and audio data converters* - Philips, August, 1993.
4. *** *Technical guide, Vol. 31: Auto DCC Technology*, Panasonic

„Fără nici un fel de dubiu, zilele tehnicilor analogice de înregistrare AF sunt numărate. Tehnica digitală poate oferi utilizatorului o serie de facilităţi suplimentare faţă de cele oferite de casetofonul *clasic*, tentante şi deloc de neglijat pentru cumpărătorul potenţial."

ISBN 973-31-1162-7

Lei 18 000